

# Diseño y selección de materiales para un U.S.V. de control medioambiental.

Trabajo final de grado



Facultad de Náutica de Barcelona  
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:  
**Víctor González Albesa**

Dirigido por:  
**Sergio Iván Velásquez Correa**

Grado en ingeniería de sistemas y tecnología naval

Barcelona, 1 de Octubre de 2019.

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat de Nàutica de Barcelona

"Nunca sabremos el valor del agua  
hasta que el pozo esté seco"

Thomas Fuller (1608-1661), historiador y capellán del rey de Inglaterra.

---

# **Agradecimientos**

Previamente a este trabajo, quiero agradecer a esas personas que siempre han estado allí durante mi etapa universitaria.

Gracias a mi familia, en especial a mis padres y mi hermana, por apoyarme siempre y estar a mi lado en mis decisiones.

Agradecer a todos los profesores de la FNB con los que he tenido el placer de aprender y descubrir un nuevo universo, el naval, y sobre todo al tutor de este trabajo, Sergio Velasquez Correa, por su tiempo y consejos para la elaboración del mismo.

A Rashid por sus lecciones y por enseñarme que nunca nada es tan complicado como parece.

Finalmente a mis compañeros de carrera en estos 4 años, en especial a Álvaro, Dome y Paula, sin ellos el viaje hubiera sido más duro, sin duda.



---

# **Resumen**

En los últimos años ha aumentado el uso que se les da a los drones aéreos, terrestres, y en el caso de este trabajo, los marinos. Atendiendo a la necesidad urgente y actual de controlar el estado de las aguas y del medio ambiente en los distintos ecosistemas, causada por la alarmante situación climática, es tarea de todos el investigar como contralar y mejorar el planeta.

Debido a ello, este trabajo tratará de dar solución a esa necesidad, mediante el estudio de los sensores que estos pueden llevar, y como tema principal del trabajo, la realización del diseño y posterior selección de materiales óptimos para la construcción del dron.

Previamente a todo ello se hará un repaso a la historia de los drones marinos y se explicaran los distintos usos que se le dan en la actualidad a estos drones exponiendo distintos ejemplos de ello.

Como conclusión al trabajo se estudiará la viabilidad económica del diseño y construcción del dron resultante.

# **Abstract**

Nowadays the use of aerial, ground, and in the case of this assignment, marine drones have increased. Attending to the urgent and current requirement to control the quality of the water and the environment in the different ecosystems caused by the climatic warning situation, it could be a responsibility to investigate how to control and improve the Earth.

Due to this assignment I will try to solve this need through the study of the sensors that are able to install in the drone, and as the main theme of this assignment, the realization of the design and the following selection of the optimal materials for those realization.

Previously, a review of the history of marine drones will be made and the different uses that are currently given to these drones will be explained giving different examples of this.

The last part of the assignment will be a conclusion, furthermore, the economic viability of the design and construction of the final drone will be studied.

---

# Tabla de contenidos:

## Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	IV
TABLA DE CONTENIDOS: .....	V
LISTADO DE FIGURAS: .....	VIII
LISTADO DE TABLAS: .....	X

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
--------------------------	-----------

<b>1. HISTORIA DE LOS DRONES, QUÉ SON LOS U.S.V. Y SUS USOS. ....</b>	<b>12</b>
---	-----------

1.1. HISTORIA DE LOS DRONES .....	12
1.2. TIPOS DE DRONES MARÍTIMOS: .....	15
1.1.1. ROV .....	15
1.1.2. USV .....	17
1.1.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES .....	19
1.3. USV: CARACTERÍSTICAS Y EJEMPLOS EN FUNCIÓN DE SUS USOS .....	21
1.3.1. MILITAR Y SEGURIDAD .....	21
1.3.2. MEDIO AMBIENTE Y CIENTÍFICO .....	25
1.3.3. COMERCIO Y TRANSPORTE .....	28

<b>2. SENSORES QUE PUEDEN LLEVAR Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MISMOS.....</b>	<b>29</b>
---	-----------

2.1. SENSORES ATMOSFÉRICOS .....	29
2.1.1. VIENTO .....	29
2.1.2. TEMPERATURA .....	30
2.1.3. HUMEDAD .....	32
2.1.4. PRESIÓN.....	33
2.1.5. RADIACIÓN SOLAR .....	33
2.1.6. CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN .....	34
2.2. SENSORES DE AGUA O MARINOS .....	35
2.2.1. SALINIDAD .....	35
2.2.2. HIDROCARBUROS .....	36
2.2.3. OXÍGENO .....	39
2.2.4. PH.....	41
2.2.5. CLOROFILA.....	42
2.2.6. TURBIDEZ.....	43

<b>3. LEGISLACIÓN A LA CUAL SE ACOGEN ESTOS VEHÍCULOS.....</b>	<b>44</b>
3.1. SITUACIÓN LEGISLATIVA: .....	44
3.2. NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN:.....	46
<b>4. PROPUESTAS DE DISTINTOS DISEÑOS.....</b>	<b>47</b>
4.1. MONOCASCO .....	47
4.2. CATAMARÁN .....	49
<b>5. JUSTIFICACIÓN DEL MEJOR DISEÑO Y ELECCIÓN DEL MISMO. ....</b>	<b>53</b>
5.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ELECCIÓN DEL TIPO DE CASCO .....	53
5.2. BASE DE DATOS .....	54
5.3. CALCULO DE LAS MEDIDAS BASICAS DEL DRON .....	55
5.4. DISEÑO DE FORMAS DEL CASCO .....	58
5.4.1. ESTUDIO DE FORMAS PARA QUE LA EMBARCACIÓN FUNCIONE EN RÉGIMEN DE SEMIDESPLAZAMIENTO. ....	58
5.4.2. EVOLUCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO .....	60
5.5. CALCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO .....	63
5.5.1. SISTEMA WATERJET .....	63
5.5.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE Y DE LA PORTENCIA REQUERIDA.....	65
5.5.3. ELECCIÓN DE LOS MOTORES Y DE SUS BATERÍAS. ....	71
5.5.4. DEFINICIÓN DE LOS ESPACIOS: .....	72
<b>6. BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES ÓPTIMOS DE CONSTRUCCIÓN. ....</b>	<b>74</b>
6.1. MATERIALES DE LAS PARTES DEL DRON: .....	74
6.1.1. FLOTADORES: .....	74
6.1.2. CUERPO PRINCIPAL .....	78
6.2. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE LAMINACIÓN: .....	80
6.3. NORMATIVA DE LAMINACIÓN: .....	83
6.4. SECUENCIAS DE LAMINADO Y PESOS FINALES:.....	83
6.4.1. SECUENCIA DE LAMINADO DE LOS FLOTADORES .....	83
6.4.2. SECUENCIA DE LAMINADO DEL CUERPO PRINCIPAL.....	84
<b>7. CALCULO DE PESOS DE LA EMBARCACIÓN.....</b>	<b>86</b>
<b>8. EVALUACION HIDROESTATICA. ....</b>	<b>89</b>
<b>9. EVALUACION DE ESTABILIDAD Y FLOTABILIDAD.....</b>	<b>91</b>



---

<b>10.</b>	<b>ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL Y DE SU VIABILIDAD DE CONSTRUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN....</b>	<b>94</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO I: ACRÓNIMOS.....</b>	<b>97</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA: .....</b>	<b>98</b>

## **Listado de Figuras:**

Figura 1: Ilustración de los drones austríacos sobre Venecia (Fuente: eldrone.es).....	12
Figura 2: Planos del Teleautomaton (Fuente: vadebarcos.net) .....	13
Figura 3: Teleautomaton s.XIX (Fuente: vadebarcos.net) .....	14
Figura 4: ROV en su garaje (Fuente: rovs.es).....	16
Figura 5: Protector USV (Fuente: defencetalk.com).....	22
Figura 6: Sea hunter atracado en puerto (Fuente: businessinsider.com) .....	22
Figura 7: Funcionamiento de un ACTUV (Fuente: en.wikipedia.org) .....	23
Figura 8: C-Barrido en operación (Fuente: Unmannedsystemstechnology.com) .....	24
Figura 9: C-Target 1 (Fuente: asvglobal.com).....	24
Figura 10: Saildrone (Fuente: saildrone.com) .....	25
Figura 11: C-Worker 6 en funcionamiento (Fuente: asvglobal.com) .....	26
Figura 12: USV-RSV de marine tech (Fuente: en.marinetech.fr).....	27
Figura 13: Dron de Indra en operaciones de prueba (Fuente: indracompany.com).....	28
Figura 14: Render del proyecto de Rolls Royce para el comercio marino por medio de USV (Fuente: gizmodo.com) .....	28
Figura 15: Escala de velocidades de viento (Fuente: Wikipedia.es).....	30
Figura 16: Funcionamiento de un electrodo galvánico (Fuente: emtic.educarex.es) .....	36
Figura 17: Esquema del funcionamiento de una torre de decantación de petróleo (Fuente: profesoreblinea.cl) .....	37
Figura 18: Funcionamiento de un fluorímetro (Fuente: repositorio.innovacionumh.es).....	39
Figura 19: Sensor electroquímico de oxígeno (Fuente: dastecsrl.com.ar).....	40
Figura 20: Absorción de los dos principales tipos de clorofila (Fuente: Wikipedia.org) .....	42
Figura 21: Componentes de un espectrofotómetro (Fuente: repositorio.innovacionumh.es) .....	42
Figura 22: funcionamiento de un sensor de turbidez nefelométrico (Fuente: cl.endress.com).....	43
Figura 23: Barco monocasco (Fuente: solanayachting.com).....	47
Figura 24: USV APACHE 3 para control batimétrico (Fuente: geo-matching.com) .....	48
Figura 25: USV Q-BOAT 1800D para estudios oceanográficos (Fuente: nauticexpo.com) .....	49
Figura 26: USV Saildrone para monitoreo del estado de las aguas y del aire en tiempo real (Fuente: saildrone.com).....	49
Figura 27: Catamarán (Fuente: yachtall.com) .....	50

Figura 28: OceanAlpha USV M40 para oceanografía hidrográfica (Fuente: geo-matching.com) .....	51
Figura 29: USV CATAROB-ATS-03 para mediciones medioambientales (Fuente: geo-matching.com).....	52
Figura 30: USV SONOBOT para patrullar, explorar y vigilar (Fuente: geo-matching.com) .....	52
Figura 31: Gráfico de regresión lineal eslora-manga (Fuente: elaboración propia) .....	55
Figura 32: Gráfico de regresión lineal eslora-calado (Fuente: elaboración propia).....	56
Figura 33: Gráfico de regresión lineal eslora - velocidad máxima (Fuente: elaboración propia) .....	56
Figura 34: Gráfico de regresión lineal eslora - altura (Fuente: elaboración propia) .....	57
Figura 35: Gráfico de fuerzas hidrostáticas de un cuerpo parcialmente sumergido (Fuente: sc.ehu.es)..	58
Figura 36: Vistas del dron definitivas (Fuente: elaboración propia) .....	62
Figura 37: Funcionamiento de un Waterjet (Fuente: worldmaritimeaffairs.com) .....	64
Figura 38: Gráfico Trimado - Velocidad, Maxsurf Resistance (Fuente: elaboración propia) .....	66
Figura 39: Tabla de resultados de la gráfica Trimado – Velocidad (Fuente: elaboración propia).....	67
Figura 40: Hullspeed, tabla de resultados (Fuente: elaboración propia).....	68
Figura 41: Gráfico Resistencia – Velocidad (Fuente: elaboración propia) .....	69
Figura 42: Gráfico Potencia – Número de Froude (Fuente: elaboración propia).....	70
Figura 43: Motor seleccionado (Fuente: hobbyking.com) .....	71
Figura 44: Renderizado de los flotadores (Fuente: elaboración propia).....	72
Figura 45: Renderizado del cuerpo principal (Fuente: elaboración propia) .....	73
Figura 46: Gráfico Modulo de Young – Densidad (Fuente: elaboración propia).....	75
Figura 47: Gráfico Modulo de Young – Densidad con límites de excelente resistencia al agua salada y buena resistencia a los rayos UV (Fuente: elaboración propia).....	76
Figura 48: Gráfico Precio – Densidad (Fuente: elaboración propia) .....	77
Figura 49: Gráfico Modulo de Young – Densidad, selección cuerpo principal (Fuente: elaboración propia) .....	79
Figura 50: tipos de estructuras MAT (Fuente: Asignatura: Materiales compuestos. Procesos de fabricación. BESENDJAK A. Ed. UPC; Barcelona 2005) .....	81
Figura 51: Estructura textil (Fuente: Asignatura: Materiales compuestos. Procesos de fabricación. BESENDJAK A. Ed. UPC; Barcelona 2005) .....	82
Figura 52: Comparación estructura monolítica – estructura sándwich (Fuente: Asignatura: Materiales compuestos. Procesos de fabricación. BESENDJAK A. Ed. UPC; Barcelona 2005) .....	82

## **Listado de Tablas:**

Tabla 1: Cantidad de sal en agua y tipos de aguas (Fuente: Elaboración Propia) .....	36
Tabla 2: Base de datos (Fuente: elaboración propia).....	55
Tabla 3: Dimensiones del dron de EvoLogics SONOBOT (Fuente: elaboración propia) .....	57
Tabla 4: Especificaciones técnicas del motor (Fuente: elaboración propia) .....	71
Tabla 5: Secuencia de laminación flotadores (Fuente: elaboración propia) .....	84
Tabla 6: Secuencia de laminación cuerpo principal (Fuente: elaboración propia) .....	85
Tabla 7: Pesos de las partes de la estructura (Fuente: elaboración propia) .....	86
Tabla 8: Pesos del sistema propulsivo (Fuente: elaboración propia) .....	87
Tabla 9: Características de los elementos electrónicos (Fuente: elaboración propia) .....	87
Tabla 10: Características de los elementos de sensorización (Fuente: elaboración propia) .....	88
Tabla 11: Resumen de las baterías (Fuente: elaboración propia) .....	88
Tabla 12: Resumen de pesos del dron (Fuente: elaboración propia).....	88
Tabla 13: Resultados hidrostáticos en desplazamiento en rosca (Fuente: elaboración propia).....	90
Tabla 14: Ensayos a aplicar a las embarcaciones no propulsadas a vela (Fuente: AENOR UNE-EN ISO) ...	92

# INTRODUCCIÓN

Desde el año 1880 la temperatura media del planeta ha aumentado 1,4°C a año 2015, desde entonces y año tras año la temperatura media no ha hecho más que aumentar poniendo por ejemplo años como el 2016 o el 2018 los cuales rompieron records de calor en todo el mundo por fenómenos como el niño. De modo simétrico, el tráfico portuario y la cantidad de mercadería transportada por medio de barcos ha subido también, alterando ecosistemas de costas o marinos ya sea a base de vertidos accidentales o por la modificación de los mencionados ecosistemas, como pueden ser costas o puertos.

Así pues, y debido a la imperiosa necesidad de la sociedad actual de consumir productos derivados del petróleo, es tarea y misión de todos, tener cuidado del medio ambiente y evolucionar hacia una transición más ecológica y sostenible para el beneficio tanto del ser humano, como de todos los seres que en la tierra viven. Por ello, es posible que el ser humano se encuentre ante su reto más mayúsculo que ha tenido en toda su historia, es por eso que este trabajo pretende poner su pequeño grano de arena en la construcción de este futuro más sostenible y verde.

En la actualidad existen drones de superficie que toman muestras y contralan las aguas someras para analizar el estado de esos ecosistemas. Si bien es cierto que este tipo de productos ya existen en el mercado y son comunes, tienen como principal problema, que debido a su pequeño tamaño en comparación a los barcos de puertos tanto mercantes como deportivos, suelen ser dañados por esos barcos de tamaño extremadamente superior que en esos lugares operan, provocando que estos drones de hundan y contaminen el fondo llegando a perder incluso los datos recogidos por los distintos sensores que lleva el dron.

Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo no es otro que el diseño y la selección de los materiales de construcción de un dron de superficie que nos permita hacer muestreos de la calidad del agua, y que evite el problema comentado anteriormente, que no es otro que la contaminación y pérdida de los datos debido al hundimiento de estos drones a causa de las colusiones con los buques de puerto.

El trabajo empieza con un repaso de la historia de los drones marítimos y sus evoluciones, hasta llegar a ver los diferentes drones marinos que existen y los usos que se les da. Se continuará viendo los distintos sensores que se pueden aplicar en el dron y cómo funcionan, para seguir con el principal escollo en el mundo de los drones marítimos que no es otro que la legislación que regula estos aparatos. Una vez obtenida toda esta información, se entrará en el tema principal del trabajo, que es el diseño y búsqueda de los materiales óptimos para la construcción de un dron con estas funciones y características. Para acabar, se hará un breve estudio de la viabilidad económica de comercialización y construcción del dron, seguido de las conclusiones que pondrán punto y final al trabajo.

# **1. HISTORIA DE LOS DRONES, QUÉ SON LOS U.S.V. Y SUS USOS.**

Entendemos por drone o dron un objeto no tripulado que vuela; es lógica esa relación pues si traducimos el anglicismo drone al castellano veremos que el significado de este es zumbido, como si de una abeja se tratara. Partiendo de esta premisa, definiremos dron como un vehículo no tripulado, de los cuales existen tres variantes: aéreos, terrestres y los que nos atañen en este trabajo, los marinos.

## **1.1. HISTORIA DE LOS DRONES**

La historia de los drones u objetos no tripulados, si bien este trabajo versa sobre los drones marítimos de superficie, es imposible de explicar sin mencionar los drones aéreos o sus avances.

La idea de un objeto controlado externamente a él y que no precisa de operarios o de tripulación dentro de ella para prestar un servicio o una misión es antigua. Ciertamente en la actualidad se está viendo el mundo de los drones como una herramienta más para la ciencia o de la investigación, sin embargo los objetos no tripulados no serían lo que son sin el campo militar ya sea para la defensa o vigilancia del enemigo, tanto es así que unos de los primeros drones que aparecen en la historia fueron alrededor de 200 globos atados con bombas que en julio de 1849 el ejército austriaco hizo sobrevolar en la ciudad italiana de Venecia.

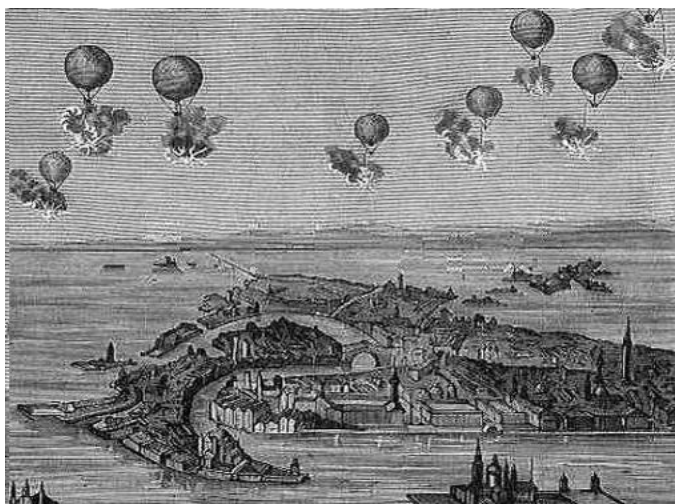


Figura 1: Ilustración de los drones austríacos sobre Venecia (Fuente: eldrone.es)

Años más tarde y durante la guerra civil de Estados Unidos, hacían volar globos para el reconocimiento del campo, esta práctica iría depurándose hasta que en 1898 y durante la guerra Hispano-Americana se montaron cámaras en cometas para tomar las primeras fotografías de reconocimiento aéreo. Este uso del dron como reconocimiento se extendería hasta la primera guerra mundial, los cuales permitían

tener los mapas de posición de los enemigos actualizados, seguidamente y viendo las ventajas que estos aparatos ofrecían sobre el campo sirvieron como diana de prácticas para las fuerzas militares a partir del siglo XX y hasta el periodo de entreguerras. Posteriormente y con el inicio de la Segunda Guerra Mundial, los drones pasaron a convertirse en bombas voladoras que podían enviarse más allá de las posiciones enemigas. Una vez acabada esta guerra y durante la guerra fría el objeto no tripulado volvió a verse como un aparato de vigilancia y captura de datos de inteligencia para lugares de difícil acceso o situación comprometida para las tropas, finalmente y en la actualidad los drones cumplen todos esos aspectos desde vigilancia, operaciones militares de eliminación de objetivos hasta dragaminas en los mares.

Todos estos avances desde esos globos hasta los drones modernos no podrían ser posibles sin grandes inventos que los acompañan como la radio y el uso de las ondas electromagnéticas en forma de radiocontrol y es en este preciso instante donde los drones marítimos y en especial los USV cobran la vital importancia dentro de la historia de los drones, pues el 1 de julio de 1898 el inventor e ingeniero serbio Nikola Tesla (1856-1943) presenta en la oficina de patentes de Estados Unidos un documento con el nombre ``Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or Vehicles`` (``Método y aparato para controlar el mecanismo de movimiento de buques o vehículos``). La patente describía lo que en ese momento era el primer sistema de control remoto de la historia y sin duda ponía la primera piedra en la historia de los vehículos no tripulados modernos.

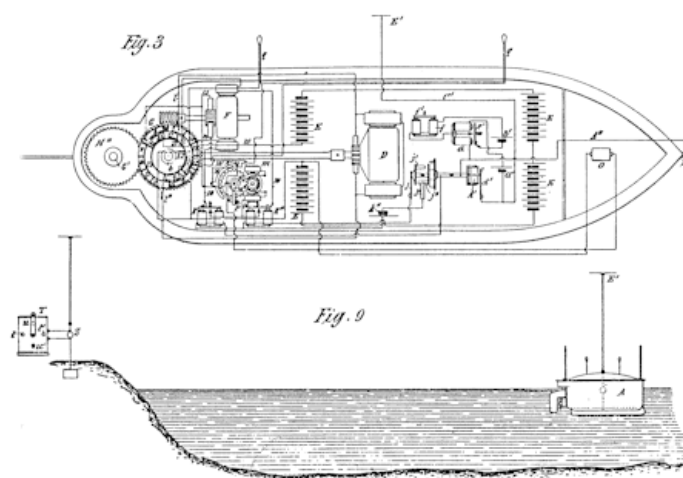


Figura 2: Planos del Teleautomaton (Fuente: vadebarcos.net)

Tras la publicación de la patente y en septiembre de ese mismo año, Tesla hizo una demostración de la patente, creando lo que se convertiría en el primer drone marítimo tipo USV controlado por radiocontrol de la historia que fue bautizado como Teleautomaton. Para la demostración, Tesla hizo una maqueta de un bote de más o menos un metro la cual controlaba desde un puesto de control situado en la orilla de una piscina.

El Teleautomaton constaba de una antena central, la cual servía para recibir las ondas que se emitían desde el puesto de control, disponía también de dos antenas situadas a proa y popa que en la punta de

estas tenían dos bombillas las cuales servían para situarse y marcar el rumbo durante la noche. En su interior tenía dos motores eléctricos uno para la propulsión del drone y otro para el manejo y control del timón, para aportar la energía suficiente disponía de una batería que alimentaba los motores y bombillas anteriormente citados a más a más de un mecanismo que transformaba las ondas de radio en órdenes para los aparejos del bote.

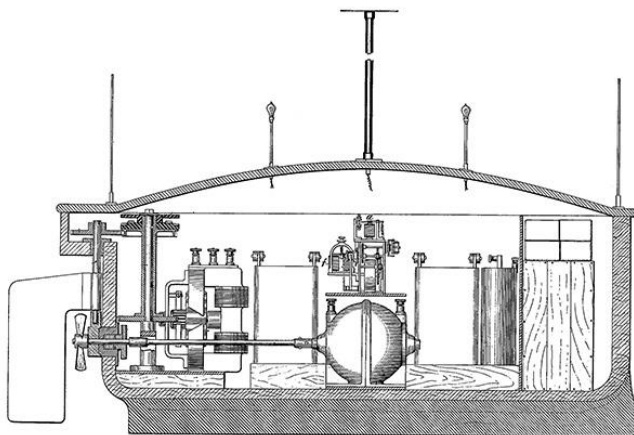


Figura 3: Teleautomaton s.XIX (Fuente: vadebarcos.net)

A parte de la embarcación que se ha comentado anteriormente, más tarde Tesla construyó otro tipo de dispositivo con el mismo principio de radio control pero esta estaba pensada para funcionar bajo el agua y tenía más parecido a un torpedo que a un submarino. Así pues en 1898 el mismo inventor obtuvo la patente del radiocontrol y aun que el invento hoy en día pudiera parecer revolucionario, no se consiguió vender a ninguna marina ni nación del mundo y no sería hasta décadas después, donde ya en la Segunda Guerra Mundial, el mundo se daría cuenta del increíble potencial que esta tecnología podía aportar para el desarrollo militar y posteriormente científico.

Contemporáneamente a Tesla, en 1903 el ingeniero español Leonardo Torres Quevedo (1852-1936), presentó el "Telekino" en la academia de las ciencias de París, junto a una memoria donde se explicaba su funcionamiento y junto a una demostración experimental, el aparato consistía en un autómata que ejecutaba ordenes mediante ondas hertzianas, siendo así uno de los primeros drones marítimos, ese mismo año obtuvo la patente del "Telekino" en España, Francia, Gran Bretaña y Estados Unidos.

Tres años más tarde fue probado con éxito el sistema sobre un barco no tripulado y maniobrado a distancia en el puerto de Bilbao ante la supervisión del rey Alfonso XIII. Seguido de esa demostración Leonardo intentó implementar y estudiar su invento en la industria militar, en proyectiles y torpedos, investigación que tuvo que abandonar por falta de financiación, sucediéndole así la misma fortuna que a Tesla unos años antes, en la cual el gobierno nacional, en este caso España, no supo ver ni aprovechar el potencial de dicho invento, condenándolo al olvido hasta la segunda Guerra Mundial.

Así pues al llegar la segunda Guerra Mundial, fueron muchos los avances y usos que se le dieron a los drones marítimos gracias al uso del control remoto, los usos van desde USV para vigilancia y práctica de



tiro en el agua hasta torpedos aire-agua de los japoneses. Una vez finalizado el conflicto, se observó el potencial para otros fines no bélicos, el ejército americano usaba USV para recoger muestras de agua después de cada explosión atómica durante la operación "Crossroads", por otra parte el propio ejército americano junto con la armada británica dedicaron muchos esfuerzos durante los cincuenta y sesenta al desarrollo y experimentación con los ROV (Remote Operated Vehicle) para usos tan importantes como rescate de torpedos y minas de prácticas por parte del primer ROV, el "Cutlet" inglés, esto llevo a un perfeccionamiento de la capacidad y el tipo de operaciones de rescate que se podían hacer en alta mar. Ejemplo de ello, es el primer ROV de la serie CURV, serie que aún está operativa y en continuo desarrollo, el CURV-I, que fue el encargado de en 1966 recuperar una cabeza nuclear hundida y perdida en el mediterráneo por parte de Estados Unidos. Más adelante, en 1973, el CURV-III conseguiría realizar un rescate de dos hombres varados en el fondo del océano a 480m de profundidad. En paralelo cronológicamente y durante la guerra del Vietnam, EE.UU. modifico un bote de fibra de vidrio de unos 7 metros de eslora para usarlo como USV dragaminas a control remoto. Por otro lado durante los setenta y ochenta los ROV y USV ayudaron a las grandes compañías petrolíferas y gaseras a encontrar y perforar combustibles en alta mar y a gran profundidad.

Así pues, como se ha podido ver los conflictos bélicos han sido de vital importancia para la evolución tanto de los usos como de la tecnología que llevan los drones marítimos, llegando estas innovaciones hasta la actualidad y viendo como nuevos proyectos cada vez más son de carácter científico-ambiental o inspección subacuática, si bien es cierto que la seguridad y vigilancia abarca la mayoría de los usos de drones marítimos y en concreto de los USV.

### **1.2. TIPOS DE DRONES MARÍTIMOS:**

Como se ha podido observar, el crecimiento y desarrollo de los usos de los drones marítimos es exponencial desde que finalizo la segunda Guerra Mundial hasta la actualidad, teniendo hoy por hoy grandes prodigios de la ingeniería en cuanto a drones marítimos se refiere.

#### **1.1.1. ROV**

Los Remote Operated Underwater Vehicle o en sus siglas ROV o ROUV, que traducido al español seria vehículo submarino operado a distancia, son aquellos drones marinos que realizan su trabajo bajo la superficie del agua.

Una primera clasificación de los ROV podría ser dependiendo de la forma con la que se comunica el dron con la superficie, para ello se dispone de dos métodos. El primero de ellos y también el más antiguo puesto que se lleva usando desde el primer ROV inventado, el "cutlet" el cual se usaba para reparaciones submarinas, rescates o investigación del fondo marino, es aquel que opera mediante un cordón umbilical o umbilical tether. Este método otorga la capacidad de trabajar a una mayor profundidad y a parte al estar operado mediante cable una menor perdida de datos, no obstante el cable aporta un alto peso y reduce la movilidad del dron. A través del cable podemos enviar energía eléctrica que una vez en el ROV permite accionar una gran cantidad de herramientas y sensores los

cuales realizan trabajos en las profundidades con suma precisión y para herramientas de más potencia también se pueden accionar mecanismos hidráulicos, mientras que desde el dron se envían imágenes y datos al barco de apoyo desde el cual se maneja el ROV. Este tipo de dron apenas se mantiene en flotación, lo cual obliga a que el ROV tenga que equipar una o varias hélices verticales.

Existen dos tipos de operativas con los ROV con umbilical tether:

- Vuelo Libre: En este caso el dron va atado mediante un cordón umbilical a la estación de control de la superficie o del buque operativo.
- Garaje: Este sistema se usa para operaciones a gran profundidad, desde el barco se lanza un conjunto de ROV mas una pequeña estación la cual recibe las órdenes de la estación de control de superficie y un umbilical el cual va conectado el ROV.



Figura 4: ROV en su garaje (Fuente: rovs.es)

El segundo grupo de esta clasificación, se encuentran los ROV más nuevos, aquellos que operan sin cordón umbilical vía radiocontrol. De estos hay muchos proyectos en el mercado, sin embargo muy pocos de estos están materializados y operando puesto que la principal desventaja de este tipo es que en caso de pérdida o avería se hace imposible la recuperación. Estos pueden ser considerados drones como tal.

Tipos de ROV según sus usos:

1. Vehículo de observación.
2. Vehículo de observación con capacidad de carga.
3. Vehículo de clase de trabajo.
4. Vehículo de arrastre remolcado.
5. Vehículo especializado o prototipo.

### Componentes básicos de un equipo ROV:

- El ROV
- Sistema de lanzamiento y recuperación
- Unidad de suministro de energía
- Consola central
- Monitor
- Equipo humano (personal técnico, submarinistas, ingenieros, etc...)

Entre las tareas que suelen desempeñar estos drones se contemplan desde inspección de estructuras submarinas hasta complejas operaciones bajo agua, siendo la industria petrolífera y gasera las que más usan estos drones. Sin embargo, cada vez con más asiduidad se usan ROV para oceanografía, investigación, salvamento, etc...

### **1.1.2. USV**

El USV (Unmanned Surface Vehicle) o ASC (Autonomous Surface Craft) entre muchos otros acrónimos o siglas que tienen los barcos no tripulados. Estos vehículos se desplazan por la superficie del agua sin posibilidad de sumergirse ni convertirse en un submarino y configurado para poder ser pilotado remotamente o de forma totalmente autónoma.

Las principales características de los USV son:

- Una autonomía superior a la de los demás drones.
- Carga y tamaño que pueden adquirir son ilimitados.
- Capacidad de trabajar en cualquier tipo de agua.

En la actualidad está viéndose un gran desarrollo en el sector de los USV ya sea por medio que proyectos de universidades, como en el caso de este trabajo, u otras áreas como pueden ser ferias o exposiciones náuticas o la protección y cuidado medioambiental del mar y las aguas, pero sin embargo sí que es importante decir que son pocas las empresas en el mundo que venden este tipo de drones, si bien es cierto, que en los últimos tiempos se empieza a ver una proliferación de este tipo de embarcaciones algunos ejemplos de ello pueden ser: el puerto de Rotterdam para recoger residuos sólidos o de hidrocarburos en el agua o en Galicia también para el control y estudio del agua fluvial.

Este auge y proliferación de proyectos viene dada por un vacío en cuanto a legislación y normativa en el campo de los USV, ello hace que no se tenga ninguna regulación ni restricciones a la hora de la construcción, diseño, medidas de seguridad o homologación de este tipo de drones, lo cual si ocurre en los demás sectores, como por ejemplo los drones aéreos lo cuales están duramente controlados y regulados y limitados normativamente. Sin embargo si el USV opera en lugares como un puerto, playa o lugares cercanos a la costa sí que está bajo la misma legalidad y normativa que una embarcación tripulada lo que le obliga a estar matriculada y pasar una ITV. Por otro lado así como con los ROV se precisa de una formación y un título con independencia del tamaño del dron o donde se opera, en el caso de los USV si es operado en zonas privadas o no reguladas no será necesario una titulación, en caso que se opere en zonas que si están reguladas se precisará de los mismos permisos que si se estuviera hablando de un barco tripulado: PER, Embarcaciones portuarias, etc...

Así pues la clasificación más efectiva para los USV se haría a partir de sus usos, siendo estos: defensa o civil. Esta última se subdividiría entre medioambiental y científico y para uso comercial:

#### A. Militar y seguridad:

Como se ha visto con anterioridad, por historia y por estrategia, este es el sector que ha ayudado más al crecimiento de los drones marítimos de superficie, gracias a él se ha innovado y experimentado en el campo de los drones.

En cuanto a operativa se refiere, por lo que se puede saber, ya que es de remarcar que este sector es muy hermético y es muy difícil saber hasta qué punto se está avanzado o cuales son los últimos logros puesto que todo está bastante clasificado o es secreto, los USV en operaciones de seguridad realizan labores de vigilancia y apoyo, caza minera y en estos últimos años buques con capacidad ofensiva e incluso capaces de llevar suministro y apoyos a zonas donde es peligroso la entrada de activos militares humanos.

Dentro de este apartado también se incluirán los rescates marinos en alta mar, ya sea como apoyo a un buque en hundimiento o como boya para señalizar el lugar donde están la personas a rescatar.

Su principal uso militar, además de los nombrados anteriormente, se suele usar como blanco móvil para las prácticas de disparo o pruebas de defensa y lucha antipiratería o terrorista.

#### B. Control medioambiental y científico:

Como se ha visto en el apartado de la historia, a partir de la década de los setenta y los ochenta, la comunidad científica vio el potencial de estos aparatos para la exploración y la documentación de los medios marinos y fluviales. Más capaces que las boyas para investigación o vigilancia pero más baratos y económicos que un barco de investigación. Existen USV en este sector llamados planeadores de olas, los cuales aprovechan la energía de las olas como medio de propulsión y sumado a eso llevan unas placas fotoeléctricas que suministra energía a los distintos aparatos de medición que lleven, todo ello le permite estar largos periodos en el agua sin necesidad de cargar baterías.

En el campo de los estudios hidrográficos, es común el uso de un USV en apoyado por un buque de investigación o inspección, lo cual convierte al dron como un "multiplicador de fuerza" que permite aumentar la cobertura del lugar a inspeccionar o analizar, reduciendo así el tiempo que se pasa en la zona a inspeccionar.

En este sector encontramos USV dedicados a la búsqueda e inspección de bolsas de combustible, análisis de aguas en puertos, ríos, embalses o mar abierto ya sea por contaminación del agua o estado y control de las aguas potables o reservas acuíferas. Con este tipo de herramientas se pueden realizar: batimetrías, exploración, mapeado de fondos marinos y seguimiento de grandes superficies marinas o fluviales, eficazmente y de manera económica. Este método se usó por primera vez en el mar de Bering

cerca de Alaska. Junto al buque de investigación iba un USV que recolectó 2.275 millas náuticas, un 44% del total a analizar, consiguiendo así que la encuesta durara 25 días menos de lo que duraría sin el USV de apoyo.

También se usan los drones USV en el sector de la acuicultura o el cuidado y fomentación de la reproducción de peces y diversas especies de animales marinos. Del mismo modo también se usan para el estudio y mapeado de los fondos e investigación de la vida en estos cuando se trata de aguas de poca profundidad como es el caso de los ríos.

### C. Comercio y transporte:

Este método de transporte sin duda es el más actual, llegando a ser un uso que por el momento está en vías de experimentación, aunque ya hay muchos proyectos para su uso e incluso algunos buques portacontenedores o porta carga ya construidos en periodo de prueba, en lo que se puede considerar como el futuro del transporte marítimo.

Aunque actualmente se están desarrollando grandes proyectos para comenzar a automatizar los procesos y operaciones de grandes buques mercantes y de pasajeros, la automatización total de este tipo de buques necesita todavía algunos años para que sea una realidad debido a la gran complejidad y también a las barreras normativas, legislativas y de certificación. Sin embargo se espera que en el futuro muchos buques de carga y de pasajeros sean USV.

Aun así en los últimos años se están produciendo un fuerte incremento en la demanda de las aplicaciones civiles de estos drones, manteniendo por supuesto el crecimiento sostenido en el ámbito militar y de defensa.

### 1.1.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Algunas ventajas de los drones marinos frente a los habituales vehículos no tripulados aéreos a los que estamos acostumbrados son:

1. AUTONOMIA: Si comparamos este aspecto entre un USV y un UAV (vehículo aéreo no tripulado), observamos que un vehículo aéreo tiene una autonomía de un máximo de 20 minutos de media mientras que un vehículo de superficie puede durar horas en operación, hasta 8 horas en algunos drones, antes de tener la necesidad de recargar las baterías y si además de esto le sumamos el uso de placas fotoeléctricas en la nave, se dota al dron de una autonomía casi ilimitada.
2. CARGA: En relación a la autonomía de un UAV, es lógico pensar que cuanto más carga se ponga a un drone menor será su autonomía así pues si la autonomía de un UAV ya es limitada cuanto más peso pongamos en él menos autonomía de vuelo tendremos y si a ello le sumamos que la normativa obliga a una carga máxima de 25Kg al despegue, ello obliga a que no se pueda cargar mucho peso. Como contraposición, se encuentra el caso del USV, puesto que gracias y valiéndose de una legislación más laxa y menos restrictiva se le permite al usuario ponerle el número de

baterías que crea oportuno para así lograr esas horas de autonomía que se precisa para el trabajo a desarrollar y permitiendo cargar casi todo tipo de cámaras, electrónica básica, sensores, etc... siendo un estudio naval de la embarcación lo único necesario para poder aumentar el tamaño de la nave en función de aquello que necesite cargar o transportar.

3. LEGISLACION: En cuanto al apartado de normativa y legislación, la de los drones aéreos es bastante restrictiva puesto que no son técnicamente fiables debido a que su tecnología está en vías de desarrollo y su crecimiento empezó hace cinco años. Aparte de esto, estos ocupan un espacio aéreo, el cual está muy restringido y acotado puesto que los drones civiles solo pueden volar controlados y con permiso hasta una altura máxima de 125m y no se prevé un cambio de normativa en un largo periodo de tiempo. Sin embargo, tal y como se ha podido ver hasta ahora y tal y como se verá más adelante en este trabajo, no existe una normativa extensa para barcos no tripulados, solamente algunas leyes, a diferencia de los drones aéreos, lo cual no quiere decir que no haya que respetar una legislación marítima, pero esta normativa dependerá del lugar o zona en la que operemos y de quien quiera que sea la máxima autoridad en la zona llegando a ser, en algunos casos, el propio cliente (ej. capitanía marítima en un puerto). Así pues como vemos mientras el sector del dron aéreo está limitado por su legislación restrictiva y fuertemente acotada, el crecimiento del dron marino en este aspecto en muy próspero y extenso.
4. TECNOLOGIA: Mientras los drones aéreos llevan una tecnología propia de los años noventa, la cual es considerablemente anticuada en comparación con la que normalmente lleva la aeronáutica comercial, si bien también es cierto que es extremadamente fiable, como inconveniente, los USV tienen la tecnología de los drones aéreos pero al mismo tiempo añaden tecnología ya existente en el ámbito naval la cuales son capaces de atracar un yate sin necesidad de intervención de personal especializado para ello, lo cual hace que la tecnología de los drones marítimos sea fiable y altamente testada, influyendo así en la capacidad de carga.
5. MERCADO: Destaca sobre todo al nivel de negocio al cual se puede aspirar y crear ya que existe un potencial mercado altamente próspero y rentable y una baja competitividad. Esto viene dado por la enorme cantidad de posible negocio que nos ofrece el mar que sumado al echo que España tiene casi 8.000Km de costa, ello nos da una idea de la cantidad de negocios y operaciones que se pueden hacer y desarrollar. Por todo ello el uso de drones marítimos se convierte en una opción de negocio extremadamente atractiva.
6. RESISTENCIA: En cuanto a los materiales, aunque también se busca la ligereza, no se tiene tanta exigencia y por ello limitaciones como los aéreos, ello permite que el usuario o el diseñador pueda usar materiales más pesados y con más resistencia al impacto, sacrificando así peso por resistencia sin repercusiones en el funcionamiento del dron.
7. TITULACIÓN: En cuanto a los ROV estos precisan de un título y carne para su manejo, sin embargo para el uso y manejo de los USV, salvo en zonas como puertos o aguas controladas, no se precisa de un título o formación para la operativa de estos dispositivos.

8. **CARACTERÍSTICAS:** Los USV son estables, sigilosos, rápidos y altamente maniobrables; todo ello les hace muy adecuados para operar en zonas de alto riesgo para la vida humana o para los medios tripulados y muy útiles para operaciones en las que el tiempo de atención es un factor crítico y vital, compitiendo así con los mismos helicópteros de los guardacostas o los propios barcos de vigilancia costera.

Si comparamos un vehículo marítimo, sumado a las cosas que hemos comentado anteriormente, un USV es mucho más resistente y fiable que un dron aéreo.

### **1.3. USV: CARACTERÍSTICAS Y EJEMPLOS EN FUNCIÓN DE SUS USOS**

Tal y como se ha visto en el apartado anterior y valiéndose de esa clasificación la cual dependía de los usos, en este apartado se mostraran ejemplos de los drones más representativos e importantes dentro de las diferentes operativas de cada uso.

#### **1.3.1. MILITAR Y SEGURIDAD**

Como se ha comentado varias veces este es el sector en el cual encontraremos más variedad y cantidad de USV puesto que es en el que se ha trabajado más históricamente. Así pues los drones más representativos de esta clase dependiendo de la operación a realizar son:

##### **1.3.1.1. PROTECTOR USV**

Diseñado por los israelíes como respuesta a ataques terroristas en el mar, se le puede considerar como el primer USV de combate operacional en servicio. Inicialmente este tenía una eslora de 9 metros y contaba con una ametralladora controlada a distancia a través de distintos sensores y cámaras de alta precisión, sin embargo a partir de 2012 la misma empresa (RAFAEL) asegura que ha trabajado en una evolución de este el cual será de 11 metros y contara con más armamento. A día de hoy también se puede encontrar desplegado aparte de en aguas israelíes, en el mar de Japón, en Singapur y en el Golfo Pérsico haciendo tareas antipiratería.

El Protector parte como base de un bote inflable de casco rígido de 9 metros de eslora, las características del cual son rapidez, maniobrabilidad y sigilo, lo cual lo convierte en un fantástico elemento para la lucha y combate marítimo. Gracias a su plataforma modular le permite instalar las armas y sensores de observación y apuntado que precise para cada operación.





Figura 5: Protector USV (Fuente: defencetalk.com)

#### **1.3.1.2. SEA HUNTER**

Lanzado en 2016, y tras dos años de pruebas y operaciones la cuales fueron superadas con éxito, en 2018 fue enviado a la Oficina de Investigación Naval para más desarrollo, mientras su versión normal seguía operando.

El Sea Hunter es un dron que, desarmado, realiza las tareas de vigilancia ya sea en alta mar o en costa. Forma de trimarán y de 40 metros de eslora, propulsado con dos motores diésel y con una autonomía de 70 días sin necesidad de repostaje, todo ello teniendo un desplazamiento de 145T.

Puede patrullar sin necesidad de un humano gracias a los avanzados sistemas de radar y guías ópticas instaladas en el dron, lo cual le permite esquivar a objetos e incluso otras embarcaciones.

A fin de que el dron sea completamente autónomo y sin necesidad de intervención humana, incluye sistemas como por ejemplo aquel que le permite cortar cuerdas o redes enganchadas en la hélice, lo cual le impediría un rendimiento normal.



Figura 6: Sea hunter atracado en puerto (Fuente: businessinsider.com)



#### **1.3.1.3. ASW CONTINUOUS TRAIL UNMANED VESSEL (ACTUV)**

Iniciado en el 2010 en E.E.U.U. por la DARPA (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa) como un buque no tripulado para la lucha antisubmarina, ASW (Anti-Submarine Warfare).

El objetivo de este dron y su programa de desarrollo es el de demostrar la capacidad de seguimiento de un dron marítimo y su potencial dentro del despliegue de fuerza en el mar.

Diseñado para que sea capaz de buscar y rastrear submarinos objetivo gracias a su conjunto de sensores que son capaces de rastrear los submarinos modernos y silenciosos, a más a más también tiene un uso como detector de minas submarinas abandonadas o aun operativas. A parte de los sensores ya comentados el dron incorpora los más avanzados sistemas de navegación autónoma y anticollisión lo cual le permite poder incluirse dentro de la legislación militar i el COLREG.

Pensado para operar en aguas litorales y con una autonomía que llega a los 90 días seguidos pudiendo así dar caza a objetivos potenciales. Mediante el uso de sensores cada vez más potentes, se busca monitorizar y clasificar los submarinos objetivos, autónomamente. Mediante el uso de satélites se controla u ordena que regrese al modo patrulla o siga rastreando. El ACTUV no es un dron que va armado, por lo tanto, en el momento que el dron detecta un submarino enemigo, envía una señal por satélite con la localización del enemigo a los activos navales con posibilidad de atacar.

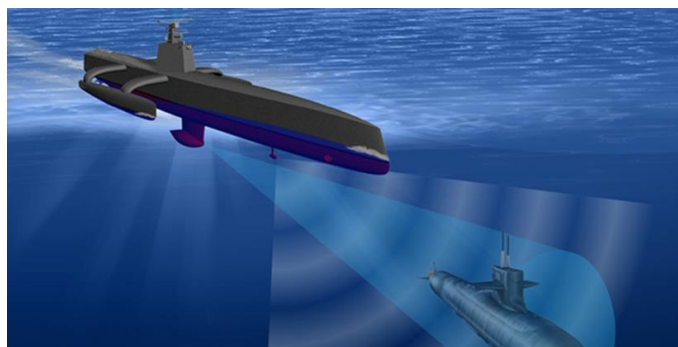


Figura 7: Funcionamiento de un ACTUV (Fuente: en.wikipedia.org)

#### **1.3.1.4. C-BARRIDO (C-SWEEP)**

Esta serie de USV fue diseñado para el barrido de minas y la desactivación y destrucción de estas. Las minas antisubmarino ya sean puestas expresamente u olvidadas de guerras anteriores, presentan un severo peligro en algunos lugares del planeta como pueden ser las Malvinas o las costas de Noruega.

Este dron cuenta con una eslora de 10,8 metros y un casco rígido de plástico reforzado con fibra de vidrio, se desplaza gracias a dos motores diésel marinos y es capaz de recorrer más de 230 millas náuticas. Tiene como principales características la estabilidad y una gran capacidad de remolque. Este USV es capaz de rastrear, desplegarse e interactuar con otros drones o sistemas autónomos como ROV o UAV. Las principales herramientas de trabajo y operación para este dron son: sonar remolcado y sensores submarinos así como un gran conjunto de cámaras y radares.



Figura 8: C-Barrido en operación (Fuente: Unmannedsystemstechnology.com)

#### **1.3.1.5. C-TARGET 1**

La serie de drones C-Target, está formada por una serie de USV las características de los cuales son: ligereza, fácil y rápido despliegue y tienen una extraordinaria maniobrabilidad, estas características le permiten desempeñar su función a la perfección, función que no es otro que el entrenamiento de la artillería naval y pruebas de armamento, es por lo tanto un blanco móvil.

Los drones de la serie tienen esloras que van desde 1.7 metros hasta los 12 metros. Van propulsados mediante motores eléctricos los más pequeños, llevando motores diésel los más grandes. Compuestos de un casco de aluminio fácil de reparar. Gracias a la electrónica que equipan estos drones son capaces de comunicarse entre sí y llegar a navegar como si fueran un enjambre.



Figura 9: C-Target 1 (Fuente: asvglobal.com)

### **1.3.2. MEDIO AMBIENTE Y CIENTÍFICO**

#### **1.3.2.1. SAILDRONE**

Tipo de USV usado para la recolección de datos en los océanos durante periodos prolongados.

Propulsados por energía solar y energía eólica.

Cuenta con un conjunto de sensores científicos e instrumentos de navegación los cuales le permiten navegar siguiendo un rumbo prescrito, por un conjunto de puntos y así poder funcionar remotamente por todos los océanos y mares.

Inventado por Richard Jenkins y usado por investigadores como la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) de Estados Unidos, para estudiar el ecosistema marino, las pesquerías y el clima.

Un ejemplo de ello lo encontramos en 2019 cuando de lanzo una pequeña flota para intentar hacer la primera circunnavegación autónoma de la Antártida.

El Saildrone cuenta con una eslora de 7 metros y una altura desde la quilla hasta la punta de su mástil de 7,5 metros, un peso de 750 Kg y en cuanto a autonomía se puede considerar como ilimitada puesto que su combustible es el sol y el viento, pudiendo ir así a una velocidad de hasta 8 kn y una media de 100 km por día.

En cuanto al equipamiento que lleva, dispone de hasta 30 sensores capaces de medir propiedades del agua (salinidad, oxígeno, clorofila, corrientes, etc...), propiedades atmosféricas (viento, temperatura, presión, radiación, etc...) y acciones de observación y estudio ambiental (cámaras, olas, radares, sondas, etc...).

Este tipo de drones, sometidos aun a pruebas, se postula como la mejor opción, económica y tecnológica para reemplazar los medios actuales de captación de datos y estudio de los medios marinos como son las viejas y costosas boyas.

De cara a las seguridad operacional, cada saildrone va equipado con: transpondedor de sistema de identificación automático (AIS), luces de navegación, reflector de radar y cámaras a bordo, a más a más de ir pintado de un color naranja vistoso, todo ello para que así el dron sea rápido y fácilmente identificable y así poder evitar colisiones con otros buques.



Figura 10: Saildrone (Fuente: saildrone.com)

#### **1.3.2.2. C-WORKER (SERIE) 4-5-6-7-8**

Los prototipos de esta serie van desde esloras de 4 metros hasta los 7,7 metros; con velocidades que pueden llegar a los 10 kn y autonomías de hasta 30 días, si bien es cierto que la media de la serie es de una autonomía de 7 días.

Las tareas que estos drones están diseñados para realizar dependen de su tamaño y modelo. El C-Worker 4, el más pequeño de la serie está diseñado para operar en aguas costeras poco profundas, propulsado por chorro de agua, su función es la de recoger muestras y encuestas en aguas someras, pudiendo equipar un sinfín de sensores que analizan desde la calidad del agua hasta las corrientes submarinas y su velocidad. Si seguimos el orden de la serie, el C-Worker 5 está diseñado para actuar como un multiplicador de fuerza de un barco de investigación y es ideal para levantamientos hidrográficos y reducir así el tiempo de estudio en el lugar. Los sucesivos drones de la serie tienen las mismas funciones que es C-Worker 5, con la particularidad que para estos drones no es necesario un buque de investigación al lado en el momento de la encuesta puesto que ellos solos la pueden realizar, pudiendo, a más a más el C-Worker 7 integrar sensores offshore y siendo el C-Worker 8 el de mayor eslora, potencia y velocidad.



Figura 11: C-Worker 6 en funcionamiento (Fuente: asvglobal.com)

#### **1.3.2.3. USV-RSV (MARINE TECH)**

El RSV (Remote Survey Vehicle) es un dron diseñado como una plataforma de superficie marina robusta y autónoma gracias a la cual puede equipar y portar infinidad de sensores oceanográficos simultáneamente para así lograr mediciones y exploraciones acuáticas.

Por otro lado también puede equiparse con cámaras infrarrojas de alta calidad que le permiten operar como una plataforma de vigilancia y seguridad en áreas sensibles o de riesgo.

Algunos datos de este dron son: tiene una eslora de 2 a 4,2 metros dependiendo del modelo, una velocidad de 12 kn y capacidad de carga de 25 hasta 200 Kg. El dron está formado por un casco inflable con una plataforma semirrígida. Se puede operar de forma remota a distancia o bien con un piloto

automática marcándole los puntos por los que debe pasar su rumbo, en cuanto a autonomía puede operar continuamente de 4 a 48h dependiendo de las baterías que con la cuales vaya equipadas.



Figura 12: USV-RSV de marine tech (Fuente: en.marinetech.fr)

### **1.3.2.4. DRONE INDRA**

Si bien es cierto que este dron no tiene ninguna función que no se haya explicado ya, se quiere remarcar que este es el primer dron marino de superficie con tecnología y diseño plenamente nacional y los componentes del cual se han fabricado todos ellos en España.

Esta embarcación que puede estar opcionalmente tripulada por dos personas, si bien es cierto que mayoritariamente opera sin tripulación, entra dentro del proyecto con el que la Xunta de Galicia pretende impulsar el sector de las plataformas no tripuladas con aplicaciones civiles.

Controlada de forma remota envía sus datos en tiempo real de radar e imágenes recogidas por los sensores que lleva equipados. Los principales motivos de su operación son: misiones de búsqueda y rescate en lugares donde es complicado el acceso y es vital el tiempo, vigilancia de puertos e inspección medioambiental. El dron tiene una eslora de 7,3 metros y puede operar a una velocidad de 36kn, sin embargo se debe remarcar que aún está en vías de desarrollo y en fase de pruebas.

Como se ha dicho con anterioridad este proyecto a más a más del trabajo para el medioambiente que realizará, también busca proporcionar beneficios durante su construcción y diseño para ello, se ha colaborado con empresas locales para el diseño y realización de piezas así con la colaboración de la universidad de Vigo. Una señal de la garantía de este dron es el gran número de misiones y operaciones que puede realizar.





Figura 13: Dron de Indra en operaciones de prueba (Fuente: indracompany.com)

### **1.3.3. COMERCIO Y TRANSPORTE**

#### **1.3.3.1. ROLLS ROYCE**

Aunque en este sector aún quedan muchos años para que se produzca una gran evolución pero Rolls-Royce ya tienen un proyecto para la inclusión de los USV en el mercado del transporte de mercancías marítimas.

Si bien es cierto que los medios tecnológicos ya son capaces de ofrecer las oportunidades para que el cambio humano a tecnología se produzca, el principal escollo en la legislación y la normativa que permita la convivencia entre barcos tripulados y drones.

El hecho de eliminar el factor humano dentro de los barcos, permitirá eliminar parte de la estructura, en especial el castillo de popa, lo cual permitirá hacer un barco más ligero y consumir un 15% menos de combustible.

Sin embargo se precisa mejorar la tecnología de cara a los sistemas de control para que no haya humanos a bordo, y que los humanos solo tengan que tomar el control en las operaciones de puerto, tanto para entrar como para salir.



Figura 14: Render del proyecto de Rolls Royce para el comercio marino por medio de USV (Fuente: gizmodo.com)

## **2. SENSORES QUE PUEDEN LLEVAR Y CARACTERISTICAS DE LOS MISMOS.**

Este apartado tiene como objetivo explicar el funcionamiento y la operativa de los sensores más importantes y más usados dentro del mundo de los drones marítimos.

### **2.1. SENSORES ATMOSFÉRICOS**

#### **2.1.1. VIENTO**

El sensor de viento o anemómetro se encarga de medir la velocidad y dirección del viento, y en función de cuan complejo se quiera, este medirá también la temperatura, presión y humedad del viento.

El anemómetro puede medir la velocidad instantánea del viento, sin embargo como situación común el viento no es continuado a una misma velocidad, sino que tiende a soplar en rachas de viento, la cuales desvirtúan la media de viento que puede soplar en ese momento. A fin de evitar esa lectura errónea, lo más acertado es que las mediciones de viento se realicen a intervalos, por ejemplo de 10 minutos, y así poder sacar una media de la velocidad del viento en un periodo de tiempo  $t$ . Por otro lado también es muy usado en deportes como la vela para medir la velocidad pico a la cual llega el viento en un momento determinado.

Existe una gran variedad de anemómetros, entre ellos destacan tres:

- Anemómetro de rotación: Es el anemómetro más básico, y el más usado, formado por unas cazoletas (Robinson) o bien por hélices las cuales están unidas a un eje central de giro, la velocidad del cual es proporcional a la velocidad con la que sopla el viento, y a su vez está unido a un pequeño generador magnético el cual mide las RPM del eje y proporciona una lectura precisa de la velocidad del viento.
- Anemómetro de compresión: se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos dos orificios, uno frontal el cual mide la presión dinámica, y otro lateral, que mide la presión estática, el otro tubo únicamente tiene el orificio lateral, la diferencia entre las presiones medias permite determinar la velocidad del viento, este sistema es muy usado para aeronáutica.
- Anemómetro laser Doppler: Este tipo de anemómetro es uno de los más modernos, funciona gracias a un láser el cual envía una cantidad de moléculas determinada en su origen. El retorno del láser decae por la cantidad de moléculas de aire en el detector, donde la diferencia entre radiación relativa del láser en el anemómetro y el retorno de radiación, son comparados para determinar la velocidad de las moléculas de aire.

Escala de velocidades de viento		
Velocidades de viento a 10 m de altura		
m/s	nudos	Clasificación del viento
0,0-0,4	0,0-0,9	Calma
0,4-1,8	0,9-3,5	Ligero
1,8-3,6	3,5-7,0	
3,6-5,8	7-11	
5,8-8,5	11-17	Moderado
8,5-11	17-22	Fresco
11-14	22-28	Fuerte
14-17	28-34	
17-21	34-41	Temporal
21-25	41-48	
25-29	48-56	Fuerte temporal
29-34	56-65	
>34	>65	Huracán

Figura 15: Escala de velocidades de viento (Fuente: Wikipedia.es)

### 2.1.2. TEMPERATURA

Los sensores de temperatura son dispositivos electrónicos que transforman los cambios de esta en señales electrónicas, que a su vez son procesadas por un equipo electrónico o eléctrico y nos proporcionan un valor, el cual puede ser el incremento o disminución de temperatura en un intervalo de tiempo o bien la temperatura en momento de la lectura.

Existen tres tipos de sensores de temperatura: los termisores, los RDT (resistance temperature detector) i los termopares.

Antes de explicar las distintas características de ellos, se debe subrayar que los sensores de temperatura están formados por prácticamente los mismos elementos y la misma composición. Acostumbra a estar formado por el elemento sensor, cualquiera de los anteriores, una vaina que lo envuelve y que esta rellena de un elemento muy conductor de la temperatura para que la variación de temperatura se transmita rápida y eficazmente al sensor y finalmente el cable que lo conecta el elemento de medición. Así pues los sensores de temperatura son:

- **Termistor:** Proveniente de Thermally Sensitive Resistor, este tipo de sensor está basado en el principio físico el cual nos dice que a mayor temperatura más conductor será un material. Fabricados con un conjunto de resistencias semiconductoras, que varían la resistencia al paso de electricidad dependiendo de la temperatura que se tenga en este momento.



Dentro de este tipo de sensores encontramos de dos tipos los NTC (Negative Temperature Coefficient) los cuales al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia y los PTC (Positive Temperature Coefficient) los cuales al aumentar la temperatura aumentan la resistencia.

Como ventaja de este tipo de sensores frente a los otros es su bajo precio y el alto rango de medición que estos tienen, añadido también a lo extendido que es su uso, lo cual permite encontrar dispositivos a los cuales conectarlos sin muchos problemas.

Sin embargo el principal problema de estos sensores es que no son transistores lineales según la temperatura lo cual hace necesario aplicar formulas complejas para determinar la temperatura según la corriente que circula y a más a más son difíciles de calibrar.

- **RTD (Resistance Temperature Detector):** el RTD es un sensor que se basa en la variación de la resistencia de un conductor cuando se le aplica un incremento de temperatura, cuanto más se calienta un material, más dispersos están sus electrones, los cuales tienen menos velocidad y ello provoca mayor resistencia.

Los materiales más usados en este tipo de sensores suelen ser cobre, molibdeno, níquel y platino, siendo este último el más usado debido a que es el que tiene un comportamiento más lineal, es más rápido y tienen el rango de temperatura más amplio, pudiendo captar temperaturas de entre -200°C hasta los 800°C.

Una pequeña desventaja que suelen tener este tipo de sensores es que si se usan para mediciones muy prolongadas a temperaturas externas tienden a un pequeño auto sobrecalentamiento, debido a la corriente que circula por el sensor, el cual podría variar los resultados de las mediciones realizadas.

- **Termopar:** También llamado termocupla, recibe este nombre porque está compuesto por dos metales, el principio por el cual se basa este instrumento de medida es el efecto termoeléctrico, este efecto permite que un material transforme el calor en voltaje eléctrico o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

El sensor genera una corriente, en mili voltios, que va en función de la temperatura que se esté aplicando al sensor o que este reciba. Cuando medimos con un voltímetro la corriente en el material se puede saber la temperatura.

Este tipo de sensores tienen un abanico de medida amplio, son económicos y son muy populares entre la industria, sin embargo carecen de la precisión que tienen los RTD o los termistores.

### **2.1.3. HUMEDAD**

Debido al ciclo del agua y a la evaporación por parte del sol de la misma, uno de los factores a tener en cuenta a la hora de estudiar las características de un medio es su humedad, de ello pueden depender diversos factores como la sensación térmica en un lugar o incluso el clima que hace en dicho lugar.

Existen varios tipos de sensores que miden la humedad, por ello se clasifican según el principio físico por el cual hacen la cuantificación de dicho factor del aire:

- **Mecánicos:** Este tipo de sensores aprovechan la propiedad por la que ciertos materiales pueden variar sus dimensiones si se ven expuestos a la humedad. La mayoría de estos sensores incorporan como material para detectar la humedad fibras orgánicas o sintéticas o incluso cabello humano, estas fibras tienden a alargarse ante la presencia de la humedad.
- **Sales higroscópicas:** Este tipo de sales, como pueden ser el cloruro de litio, están formadas por moléculas cristalinas las cuales tienen una gran afinidad con la humedad y con la absorción de esta rápida y fácilmente. Así pues observando dichas sales en un intervalo de tiempo determinado, se podrá tener una medida de la humedad que hay en el ambiente.
- **Conductividad:** Una de las propiedades del agua es que esta es una buena conductora de la electricidad, aprovechando esta característica y con la presencia del agua o humedad, esta permite el paso de una corriente a través de una rejilla de oro. Dependiendo la corriente que se registre se deduce la humedad existente.
- **Capacitivos:** Este tipo de sensores son los más extendidos y usados en el mundo industrial y en la meteorología, pues son baratos, fáciles de producir y de muy buena fidelidad. Estos sensores están basados en el cambio de capacidad que sufre un condensador en presencia de humedad la cual hace variar la constante dieléctrica del propio condensador.
- **Infrarrojos:** Una de las radiaciones que absorbe el agua se sitúa en el espectro infrarrojo así pues, estos sensores disponen de dos fuentes infrarrojas las cuales absorben parte de la radiación que contiene el vapor de agua.  
El funcionamiento de este sensor consiste en proyectar una fuente de rayos infrarrojos a través de la muestra a analizar y medir. Al otro lado la radiación resultante se mide a través de un receptor adecuado para tal fin.
- **Resistivos:** Aplican un principio de conductividad de la tierra, es decir cuanto mayor es la concentración de agua en la tierra mayor es la conductividad en esta. Para ello se sitúan dos electrodos a una determinada distancia y se hace pasar una corriente con la cual se medirá la humedad dependiendo de la resistencia que esta encuentre.

#### 2.1.4. PRESIÓN

Se entiende por presión la fuerza que ejerce un gas, líquido o sólido sobre una superficie, por ello hay muchos tipos de presiones, atmosférica, barométrica, manométrica, absoluta, así como también muchos tipos de sensores que miden cada tipo de presión sobre las diferentes superficies. Es por ello que este apartado veremos los sensores que se encargan de medir únicamente la presión en el aire, es decir la presión atmosférica, para ello el sensor o aparato que lo mide es el barómetro.

- **Barómetro de mercurio:** Formado por un tubo de 850 mm y cerrado por el extremo superior y abierto en el inferior. El tubo se llena de mercurio, se invierte y se coloca en el extremo abierto en un recipiente lleno de mercurio también. En función de la presión que se tenga, veremos como la altura del mercurio variará. Si bien es cierto que en la actualidad este tipo de barómetros se desaconseja por temas medioambientales y a más a más por el riesgo a envenenamiento por mercurio.
- **Barómetro aneroide:** Este tipo de barómetro no usa mercurio, y basa su medición en las variaciones que produce el aumento o disminución de la presión atmosférica sobre las paredes extremadamente elásticas de una caja de metal, en el interior de la cual se ha hecho el vacío. Se debe graduar con ayuda de otro barómetro y el principal problema que presenta es que debido a las constantes deformaciones, el barómetro va perdiendo precisión poco a poco. Es importante destacar que este tipo de barómetros disponen de un mecanismo en forma de tornillo para que podamos regularlo en función de la altura a la cual que se encuentre, puesto que no se tendrá la misma presión a la altura del mar que a 1000 metros de altura. Este tipo de barómetros son los más usados en estaciones meteorológicas.
- **Barómetro de digital:** Este tipo de sensores son los más modernos, más rápidos y más precisos; a más a más estos pueden incorporar medidores de humedad o viento que ayudan a prever el tiempo futuro. Mediante un sensor piezoeléctrico, este tipo de barómetro realiza las lecturas de la presión atmosférica y la muestra en una pantalla que va conectada al sensor.

#### 2.1.5. RADIACIÓN SOLAR

El sensor encargado de medir la radiación que incide en la superficie terrestre es el piranómetro o solarímetro. Se trata de un sensor el cual mide la densidad del flujo de la radiación solar (kW/m<sup>2</sup>) en un campo de 180 grados.

Existen dos tipos de piranómetros el térmico y el fotovoltaico:

- **Piranómetro térmico:** un piranómetro está formado por una pila termoeléctrica, la cual está contenida con dos esferas de cristal. Una pila termoeléctrica consiste en una serie de termopares que, colocados horizontalmente, están soldados por sus extremos a unas barras de cobre verticales solidarias con una placa de latón, todo ello pintado de negro para así absorber la máxima radiación posible. El calor originado por la radiación, se transmite a la termopila y está a través de los termopares genera una tensión eléctrica la cual es proporcional a la diferencia de temperatura entre los metales de los termopares.

- **Piranómetro fotovoltaico:** Este tipo de piranómetro no usan como principio de funcionamiento un efecto térmico sino que se fundamentan en el efecto fotoeléctrico. Así pues, la radiación incide sobre un diodo fotosensible el cual es capaz de diferenciar el espectro solar a través de la frecuencia de la onda electromagnética, y así mediante la medición del voltaje se saben los niveles de radiación. A este tipo de sensores se le puede añadir filtros a través de vidrios impregnados, con el fin de filtrar ciertas bandas del espectro solar. Estos también son más sensibles a pequeñas irregularidades o cambios puesto que no dependen del factor térmico ni de su inercia térmica.

#### **2.1.6. CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN**

Dentro de este tipo de sensores se encuentran infinidad de sensores y de tipos de partículas en suspensión que se encuentran en el aire, desde  $\text{CO}_x$  o  $\text{SO}_x$  hasta polvo o arena en suspensión, así pues este apartado se centrará en los sensores que analizan las partículas de  $\text{CO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ .

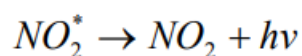
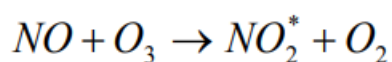
- **Analizador de  $\text{CO}_x$ :** para analizar el contenido de este tipo de partículas en el aire se usa la fotometría infrarroja, y con ella se aprovecha de la cualidad que tienen este tipo de partículas, las cuales tienen una gran facilidad para absorber energía en determinadas longitudes de onda. Al usar este principio se mide la absorción de luz infrarroja emitida, la cual es absorbida por las partículas de  $\text{CO}_x$ . La técnica consiste en emitir rayos infrarrojos en intervalos relativamente pequeños de longitudes de onda los cuales se centran en la región de máxima absorción que tienen los  $\text{CO}_x$ .

Estos provienen de la quema de combustible en los motores de combustión, a más a más estas este tipo de gases son los principales causantes del efecto invernadero.

- **Analizador de  $\text{SO}_x$ :** los analizadores de óxidos de azufre emplean el principio de fluorescencia pulsante, basado en que las moléculas de  $\text{SO}_2$  absorben radiación ultravioleta (UV) a una longitud de onda de entre 210 y 410 nm, entrando en un estado de excitación al instante para más tarde caer aun estado de energía inferior y así emitir un pulso de luz fluorescente de una longitud de onda mayor a la que había sido expuesta anteriormente que era de 210 a 410 nm. Así pues la intensidad de la luz fluorescente emitida es proporcional a la concentración de  $\text{SO}_2$ .

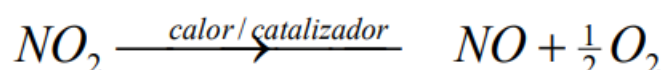
Este tipo de compuestos vienen asociados con el contenido de azufre que poseen los combustibles fósiles, lo cual los relaciona con la quema de gasóleo en vehículos y la producción de energía ya sea con carbón o con gasóleo.

- **Analizador de  $\text{NO}_x$ :** La técnica analítica para detectar y medir las partículas de  $\text{NO}_x$  es la quimioluminiscencia, la cual consiste para medir la cantidad de luz generada por una reacción química. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



\*= en estado de excitación.

Partiendo de esta reacción los analizadores de óxidos de nitrógeno miden la cantidad de luz emitida por la anterior reacción, la luz emitida se encuentra en el intervalo infrarrojo la cual tiene una longitud de onda entre 500 y 3000 nm. El NO en una muestra de aire reacciona con el ozono para formar dióxido de nitrógeno en estado de excitación. Posteriormente cuando el NO<sub>2</sub> vuelve a su estado inicial emite una luz característica, la cual es medida por los analizadores de NO<sub>x</sub>, cuanto más luz sea emitida por la reacción, más alta será la concentración de NO<sub>2</sub>. Previamente a esta reacción se miden las partículas de NO que hay en la muestra, para que el NO y el NO<sub>2</sub> no se confundan mediante la siguiente reacción, se convierten todos los óxidos de nitrógeno a NO y se miden estas partículas:



Al finalizar estos dos procesos se suma la concentración de ambas partículas y ello será la concentración total de NO<sub>x</sub>.

Este tipo de combustibles están asociados a los combustibles de vehículos y a la industria de la energía.

## 2.2. SENSORES DE AGUA O MARINOS

### 2.2.1. SALINIDAD

Entendemos por sanidad el grado en que un agua es salina, es decir si se evaporara completamente dicha agua, esta dejaría tras de sí sales de sodio, calcio o magnesio. La salinidad es un factor ecológico muy importante en el agua ya que de ella dependen por ejemplo los tipos de especies, tanto de animales como de plantas, que viven en el medio que se estudia.

Los medidores de salinidad mediante la conductividad y aplicando una corrección que dependerá de la temperatura, sensor que también lleva incorporado estos dispositivos, nos darán una lectura verídica de la salinidad de la muestra, así pues a mayor salinidad más conductora será el agua que estamos analizando. Caso similar sucede con la temperatura, a más temperatura mayor movimiento de iones disueltos y mayor conductividad, de ahí la corrección que se precisa, dado que sin ella podrían salir valores erróneos.

La salinidad se suele expresar como partes por mil (ppm), lo cual equivale, más o menos, a los gramos de sal que hay disueltos en un litro de solución que en este caso es el agua. Sin embargo, la salinidad es la suma del peso de muchos elementos disueltos dentro de un volumen de agua por lo que en la década

de los 70, se redefinió la salinidad como el cociente de conductividad de una muestra de agua en una solución estándar de cloruro potásico (KCl).

Para tener una referencia de la salinidad estándar se muestra la siguiente tabla:

Cantidad de sales disueltas	Tipo de agua
<0.5 ppm	Agua dulce
0.5 a 30 ppm	Agua salobre
30 a 50 ppm	Agua salada
>50 ppm	Salmuera

Tabla 1: Cantidad de sal en agua y tipos de aguas (Fuente: Elaboración Propia)

Para tener una referencia, el agua del mar tiene una concentración del 3.5% de sal o 35 ppm y la sal es cloruro sódico al 90%.

El sensor de salinidad mide la corriente eléctrica a través de una solución entre los dos electrodos que tiene en la sonda. A estos se les aplica un voltaje en la punta de la sonda y la corriente medida es proporcional a la conductividad de la solución.

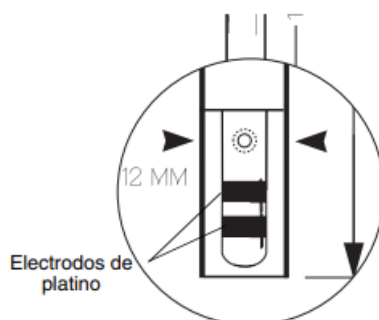


Figura 16: Funcionamiento de un electrodo galvánico (Fuente: emtic.educarex.es)

### **2.2.2. HIDROCARBUROS**

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que suelen estar en forma de aceites o grasas por lo cual no son miscibles con el agua, esta propiedad se puede usar posteriormente en beneficio del dron para hacer análisis de calidad de agua. Estos compuestos están formados por átomos de carbono y de hidrogeno, provienen en su amplia totalidad de la naturaleza y del petróleo crudo, el cual está formado por materia orgánica en descomposición por lo que abunda la presencia de carbono y de hidrógeno. Dependiendo del grado de decantación del petróleo crudo y como resultado de diversas reacciones químicas, se pueden separar los hidrocarburos en condensado, liviano, medio, pesado y extrapesado.

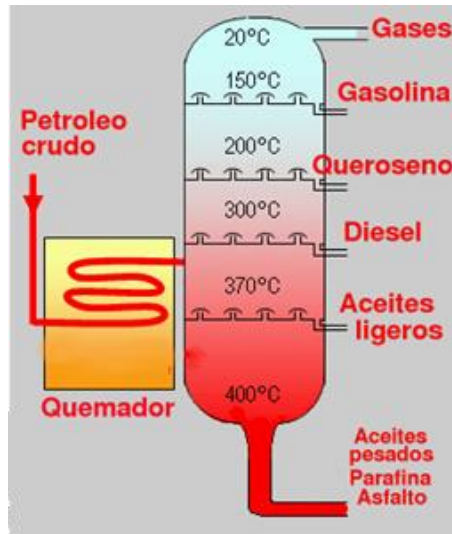


Figura 17: Esquema del funcionamiento de una torre de decantación de petróleo (Fuente: profesoreblinea.cl)

La clasificación anterior, se conoce como gravedad API o grados API, *American Petroleum Institute*, la cual comparando el hidrocarburo con el agua a temperaturas iguales y así determinar cuan pesado es el combustible, mediante la siguiente formula:

$$^{\circ} API = \frac{141.5}{GE} - 131.5$$

Donde GE o gravedad especifica se calcula de la siguiente forma:

$$GE = \frac{\rho_{\text{liquido}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

Para llevar a cabo esta medición ambos fluidos deben estar a 60° F o 15,555 °C. Una vez obtenido el grado API, se puede clasificar los combustibles en función de su ligereza o peso con el agua:

- > 40: condensado
- 30 – 39.9: liviano
- 22 – 29.9: mediano
- 10 – 21.9: pesado
- < 9.9: extrapesado

Los dos métodos más comunes para detectar hidrocarburos en el agua son los siguientes, El método EPA 1664 y la espectrometría fluorescente.

- **Método EPA 1664:** Aprovechando que los hidrocarburos son aceites, este método de detección usa el N-hexano como solvente de extracción de esos aceites hidrocarburos. El N-hexano puede absorber hidrocarburos no volátiles, aceites o grasas, combustibles derivados del petróleo o la gasolina también se extraen con esta sustancia, sin embargo pueden perderse parcialmente puesto que la eliminación de materiales solventes que se volatilizan por debajo de los 85°C se ve afectada por los procesos de eliminación a la hora de operar con el N-hexano. Por ello puede dar en algún tipo de hidrocarburo una tasa de recuperación inferior a la real, si bien se daría la cantidad mínima para detectar la presencia de estos elementos en aguas contaminadas.

Este método, aunque está regulado y estipulado como uno de los más importantes, es preciso llevarlo a cabo en un laboratorio, puesto que precisa de unos periodos que se deben cumplir para que los elementos mezclados lleven a cabo a reacción esperada, a más a más de utensilios de laboratorio. Por este motivo, no se puede llevar a cabo en el dron y se debe pensar en otro método de detección de hidrocarburos.

- **Espectroscopia de fluorescencia:** También llamada fluorimetría, esta técnica consiste en la emisión fluorescente de una muestra. Para llevar a cabo esta técnica se precisa de un haz de luz, comúnmente ultravioleta aunque también puede ser infrarroja, ello excita los electrones de las moléculas de los hidrocarburos que emiten una luz visible o no, que es captado por un sensor fotosensible. El equipo que permite medir esta fluorescencia es el fluorímetro.

Este tipo de sensor funciona de la siguiente forma: mediante un haz de luz procedente de una fuente de excitación, que puede ser laser, IR, UV entre muchas otras la elección de esta ira en función de la sustancia que queramos analizar y de la longitud de onda que necesite, hacemos pasar el haz de luz a través de un filtro o un monocromador y para que luego golpee la muestra a analizar. Una vez alcanzada la muestra, esta absorbe una parte de la luz y algunas de sus moléculas se excitan, cuando los electrones vuelven a su estado base después de ser excitados, emiten una luz fluorescente. Dicha luz que es emitida por la muestra excitada, emite luz en todas direcciones, algunas de estas luces pasan por un segundo filtro y luego llegan a un detector, el cual habitualmente es puesto a 90º para minimizar el efecto del reflejo que se pueda dar.



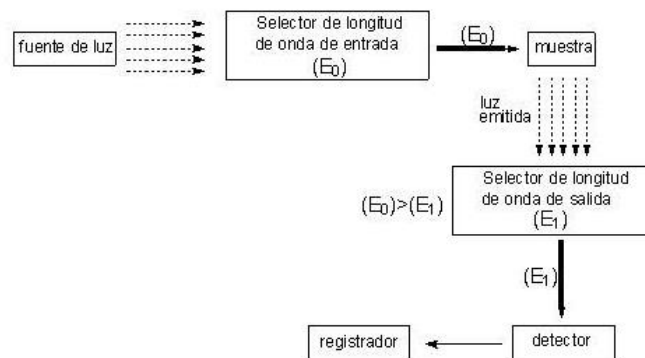


Figura 18: Funcionamiento de un fluorímetro (Fuente: repositorio.innovacionumh.es)

La Normativa en cuanto a la contaminación y los valores que podemos permitir en el agua la encontramos en el anexo 1 del convenio MARPOL 73/78: Prevención de la contaminación por hidrocarburos. En él se estipula que la concentración de hidrocarburos debe ser de un máximo de 15 ppm. En el ámbito español, la calidad que deben tener las aguas de las áreas portuarias, lo marca el ministerio de fomento con el documento ROM 5.1 – 13, en cuanto a Catalunya lo marca la Generalitat en los puertos que son de su control. La calidad del agua de baño viene regulada por la directiva 76/160 de la CEE y es de 1 ppm.

### 2.2.3. OXÍGENO

El oxígeno disuelto (OD) en el agua es la medida de la cantidad de oxígeno disuelto en un medio acuoso. La mayoría de organismos necesitan una concentración mínima de oxígeno disuelta en el agua para sobrevivir. La concentración de oxígeno en el agua depende de variables como la temperatura o del contenido de otras sustancias disueltas en el agua, así pues en el caso de la temperatura, por ejemplo, a mayor temperatura, mayor disolución de oxígeno. Como se ha comentado anteriormente, la concentración de oxígeno depende de diversos factores, en el caso del agua en el medio marino es el resultado de un proceso de consumo y aportación. El oxígeno proviene de la atmósfera, a mayor superficie de agua, mayor será la concentración de oxígeno disuelto que el agua puede adquirir. Sin embargo también influyen factores, aparte de los mencionados anteriormente; como la saturación del agua, su turbulencia o el movimiento del aire, son factores a tener en cuenta. Además en el agua también viven algas y plantas marinas las cuales mediante la fotosíntesis son una importante fuente de aportación de oxígeno a parte de la atmósfera.

Por otro lado el oxígeno disuelto en el agua también es consumido por los organismos en descomposición que en ella viven, como pueden ser sustancias orgánicas entre las que encontramos animales y plantas. Por medio de microorganismos, estos descomponen la materia orgánica. Estos microorganismos precisan de oxígeno para vivir, y lo obtienen del que está disuelto en el agua. Otra gran fuente de consumo de oxígeno disuelto es la respiración de las plantas y animales que en ella viven.

Normalmente las mediciones se toman utilizando una sonda de oxígeno disuelto y un medidor. Como no es lo mismo hacer estas mediciones en el campo que en el laboratorio, es importante saber que tecnología se ha de usar y es adecuada para el uso que se quiere. Existen dos tipos de sensores que predominan para la medición del oxígeno disuelto: electroquímicos y ópticos.

- **Sensores electroquímicos:** dentro de este tipo se incluyen los galvánicos y los polarográficos (polarizadores). En ambos tipos, una membrana delgada y permeable aísla los elementos del sensor del agua. El oxígeno que pasa a través de la membrana se reduce, creando una corriente que el medidor convierte en una medición de concentración de oxígeno en el agua. Este tipo de sensores son los más baratos, sin embargo precisan de un mantenimiento frecuente y necesitan un flujo de agua constante para analizar de forma precisa.
- **Sensores ópticos:** el otro tipo de sensores son los ópticos, estos usan la fluorescencia, la cual ya se ha explicado en el apartado de los hidrocarburos. Esta vez, en lugar de usar luz UV. El sensor usa luz azul para excitar la muestra. El oxígeno disuelto en la muestra apaga en cierto modo la excitación causada por la luz azul. Las ventajas de este sensor respecto a las del sensor electroquímico son las siguientes: no requiere caudal mínimo para obtener las lecturas, no es de consumo y no precisa de solución de llenado ni de membranas. Como contraposición tiene dos desventajas, mayor inversión inicial que los electroquímicos y tiempo de respuesta de las lecturas mayor.

Encontrar el método correcto para el cálculo del oxígeno disuelto debe incluir diversas consideraciones como los costes, el mantenimiento o el proceso de medición.

Como se puede entender, cuanto más cerca de la superficie se está, el valor del oxígeno disuelto será más cercano al estado de saturación, puesto que está en contacto con la atmosfera. El valor de saturación del agua, es decir cuánto oxígeno admite el agua, a 0°C es de 14.6 mg de  $O_2$  / L y a 20°C desciende a 9.1 mg de  $O_2$  / L. Como se ha dicho al principio a más profundidad menos oxígeno así pues, los valores normales son de entre 1 a 8,5 mg de  $O_2$  / L, siendo 5 mg de  $O_2$  / L el valor en que todos los seres vivos pueden vivir.



Figura 19: Sensor electroquímico de oxígeno (Fuente: dastecsrl.com.ar)

#### 2.2.4. pH

El pH o potencial de hidrogeno, es una medida de la acidez o la alcalinidad de una disolución, en este caso el agua del mar. El pH también puede indicar la concentración de hidrogeno en algunas disoluciones. En disoluciones acuosas el nivel de pH varia de 0 hasta 14, siendo 0 el valor más ácido, y 14 el más base. El término medio entre estos dos valores es 7, en él se encuentran disoluciones neutras como puede ser el agua pura.

El pH se define como:

$$pH = -\log_{10} a_{H^+}$$

Tal y como se puede apreciar en la formula, el pH se define como el logaritmo negativo en base diez de la actividad de los iones hidrogeno de la solución.

En disoluciones no acuosas o fuera de condiciones normales de temperatura o presión, el punto neutro del pH de estas disoluciones puede no ser 7. Ello conlleva que factores como la temperatura alteren la acidez del agua del mar, por lo que si asciende la temperatura, el pH del agua desciende, volviendo así el agua del mar más ácida de lo que debería ser. Este problema está sucediendo en la actualidad y presenta serios problemas de cara a la actividad y la salud en esos ecosistemas más ácidos de lo habitual. Otros factores que condicionan el pH del agua son: la salinidad, la presión, la profundidad o incluso la actividad de los organismos marinos.

Se puede medir de forma precisa el pH en un medio con un potenciómetro o pH-metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos, uno de ellos, de referencia, de plata y el otro formado por vidrio, el cual es sensible al ion hidrogeno., es un método electroquímico para obtener y medir el pH, este consiste en la observación de la diferencia de potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa las soluciones de diferente concentración de protones, lo cual permite conocer de forma excelente la sensibilidad y selectividad de las membranas de vidrio durante el pH. La varita de soporte del electrodo está formada de vidrio común, el cual no es conductor, mientras que el bulbo sensible, situado en el extremo del electrodo, está formado por un vidrio polarizable, el cual es sensible al pH.

Otro método que también se puede usar para el análisis del pH es el uso del papel tornasol, este método es mucho menos preciso que la electroquímica del pH-metro. Con este procedimiento dependiendo de la intensidad del ácido o de la base, el papel de tinte de un color u otro. Este método tiene cierto error puesto que se depende del color y no tiene exactitud de cara ácidos inferiores a 1 o bases superiores de 14.

El valor habitual del agua marina entre 7,5 y 8,4 lo cual le otorga una ligera connotación alcalina.

### 2.2.5. CLOROFILA

La clorofila es una familia, puesto que hay más de un tipo, de pigmentos de color verde que se encuentran en las plantas y algas presentes en el medio marino. Esta biomolécula es extremadamente importante para las plantas y algas, ya que gracias a ella producen energía a partir de la luz solar.

Hay distintos tipos de clorofila siendo las más importantes la tipo A y la tipo B. El fitoplancton es el conjunto de micro algas y otros organismos vegetales que viven en la zona donde hay luz solar, la cual se sitúa desde la línea de agua hasta los 100m de profundidad. La clorofila usa la luz para crear energía, dentro del espectro de luz, la clorofila prefiere la luz azul a la verde, por ese motivo repele la luz verde y es la que se percibe con el ojo humano, puesto que la azul es absorbida. La luz azul es la más energética dentro del espectro solar.

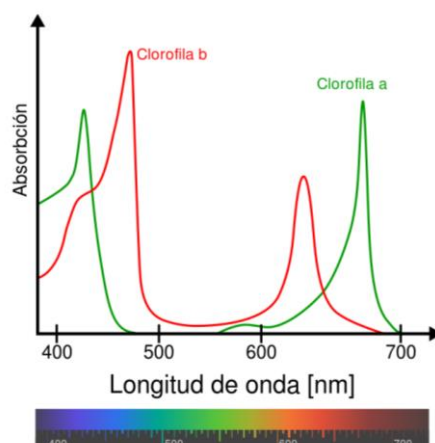


Figura 20: Absorción de los dos principales tipos de clorofila (Fuente: Wikipedia.org)

La clorofila puede detectarse fácilmente gracias a su comportamiento frente a la luz. Es por ese motivo que la clorofila se puede medir gracias a la espectrofotometría (Figura 10). Medir la concentración de clorofila en una muestra de agua da poco trabajo y permite una estimación suficiente de la concentración del fitoplancton y con ello de la actividad biológica del medio. La clorofila tiene, como se puede apreciar en la figura 10, dos tipos de absorción en el espectro visible, en el entorno del azul (400-500 nm de longitud de onda) y otra en el espectro rojo (600-700 nm de longitud de onda).

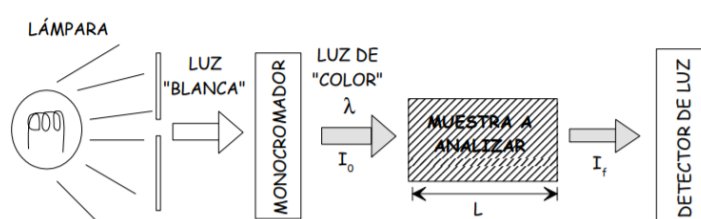


Figura 21: Componentes de un espectrofotómetro (Fuente: repositorio.innovacionumh.es)

Como se puede apreciar en la figura 11, el funcionamiento de un sensor espectrofotométrico, es sencillo, si bien altamente eficaz, con el uso de una lámpara emitimos luz sobre una muestra y el detector de luz, un sensor fotosensible, absorbe la radiación que la muestra emite. Cuantificamos la cantidad de clorofila en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 2.2.6. TURBIDEZ

Definimos por turbidez al grado de transparencia que pierde un líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión, los cuales son una serie de diminutos cuerpos solidos o gotitas de líquidos en el líquido incoloro.

A más partículas en suspensión, más turbidez. En la potabilización del agua, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua. Existen varios parámetros que influyen en la turbidez del agua: presencia de fitoplancton o crecimiento de algas, presencia de sedimentos ya sea por erosión, sedimentos de los ríos o agitación del fondo marino.

El instrumento usado para medir la turbidez es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a  $90^\circ$  cuando un rayo de luz pasa a través de la muestra de agua. El nefelómetro usa una fotocelda colocada en un ángulo de  $90^\circ$  con respecto a una fuente luminosa. La densidad de partículas es en función de la luz reflejada por las mismas partículas hacia la fotocelda. La cantidad de luz que refleje una determinada densidad de partículas en suspensión depende de las propiedades de las partículas como forma, color o reflectividad.

Hay diferentes turbidímetros en el mercado dependiendo de la configuración geométrica de la fuente luminosa con respecto a la fotocelda. Un turbidímetro nefelométrico siempre detecta la luz reflejada por las partículas y no la atenuación debida a la turbidez.

La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez o Nephelometric Turbidity Unit (NTU). Una transparencia de aproximadamente 25 a 35 cm es equivalente a aproximadamente 25 NTU. Una transparencia de  $>60$  cm es aproximadamente equivalente a una turbidez de  $<10$  NTU. Una transparencia de aproximadamente 5 cm es aproximadamente equivalente a una turbidez de aproximadamente 200 a 300 NTU.

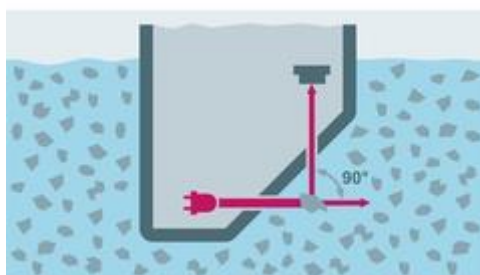


Figura 22: funcionamiento de un sensor de turbidez nefelométrico (Fuente: cl.endress.com)

### **3. LEGISLACIÓN A LA CUAL SE ACOGEN ESTOS VEHÍCULOS.**

En este capítulo se abordará una de las partes más importantes y que más condicionan el diseño de un barco o un artefacto naval, esta no es otra que la parte legislativa. En ella aparecerán las leyes y la normativa que se debe seguir para que el dron pueda navegar bajo la normativa vigente.

Este capítulo se dividirá en dos partes; en la primera parte se hará un análisis de la situación en la que se encuentra la normativa y la ley en cuanto a drones marítimos y a la construcción de estos. Para seguir, y en la segunda parte, se buscará la mejor normativa para la construcción del casco y la elección de los materiales óptimos. Se hará un inciso en la legislación, la normativa y los límites de las radiocomunicaciones y la radiación que estos pueden emitir, en cuanto a los aspectos de frecuencia, alcance y seguridad de operación.

#### **3.1. SITUACIÓN LEGISLATIVA:**

Como se ha comentado con anterioridad, una de las principales barreras en el desarrollo de un dron marino es la legislativa. Este problema no es nuevo en el mundo de los drones, ya que en el campo de la tecnología de los drones se está avanzando a una alta velocidad, mientras que la actividad normativa, legislativa y reguladora lo hace a un ritmo forzado y lento en comparación al de la tecnología, este ritmo forzado viene dado por la intención para que la legislación no sea un obstáculo de cara al avance tecnológico del sector. Si bien es cierto que en el ámbito de los drones aéreos la normativa a avanzado con extrema rapidez, hasta llegar al caso en que el mundo de los drones aéreos esta extremadamente legislado y regulado, tanto los lugares por donde estos pueden operar, hasta cómo o con qué pesos se pueden construir los drones aéreos, esto viene alentado por el hecho que de que este tipos de drones constituyen una a posible amenaza a la seguridad. Debido a ello se han aprobado leyes como el Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio, aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, la cual regula los parámetros cómo el peso, espacio aéreo autorizado, entre otros.

Esta problemática causada por la evolución tecnológica no es nueva, pues sucedió también a principios del siglo XX cuando coexistían buques a vela y a motor de vapor en las mismas aguas, y estos tenían que llevar una señal especial, puesto que no merecían el favor con que se trataba los buques de vela ya que estos no eran únicamente a vela sino que equipaban un motor, y por un tiempo se encontraban en un vacío de legalidad, al no tener un marco regulatorio.

Debe remarcarse que se están haciendo esfuerzos importantes en el sentido de legislar y normalizar los drones marinos, tanto en el ámbito internacional en el seno de la IMO (International Marine Organisation) y la EMSA (European Maritime Safety Agency), como en el ámbito nacional, desde la Dirección General de la Marina Mercante, con la puesta en marcha de iniciativas de coordinación para definir un marco legislativo conjunto que ayude a regular este tipo de aparatos y desarrollos.

Toda esta no regulación sucede mientras el uso de los drones marinos es cada vez más frecuente en trabajos que van desde peritaje, cartografía o salvamento marítimo hasta la contaminación marítima detectando o sellando vertidos de fuel al mar.

La problemática en el hecho de establecer un marco jurídico común entre los drones marítimos, reside en que estos, entre sí, tienen grandes diferencias de diseño, dimensiones, uso y características, siendo así diferente un USV que un ROV. Por otro lado también se deben tener consideraciones como quien opera el dron, puesto que este puede ser operado por un humano o puede funcionar automáticamente, previamente programadas. Por último también deben considerarse las diferencias en cuanto a las características básicas de toda embarcación como pueden ser desplazamientos, volúmenes de carga e incluso la flotabilidad.

Como todos los artefactos navales que operan en el agua, los drones marítimos están sujetos a la Ley 14/2014, de 24 de julio la cual regula la Navegación Marítima. Muchos de los drones, no están dentro de las definiciones de buque o artefacto naval que en la ley se exponen (Título III: De los vehículos de navegación, Cap. I: De los buques, embarcaciones y artefactos navales), puesto que para que sean buques deberían tener más de 24 m de eslora y para ser considerados artefacto naval deberían estar en un punto fijo.

Así pues, y viendo todo lo anterior, se hace extremadamente urgente y necesario una regulación ante la previsión de crecimiento del sector y para un mejor futuro para la industria del dron marino. A expensas de esa regulación que deben afrontar y aprobar tanto las capitanías de los países, como los organismos internacionales. Las sociedades de clasificación como Lloyd's Register, se han adelantado a estos estamentos y han publicado una regulación para estos drones, la cual está en sus primeros pasos, y en fase de prueba, por lo que aún no se puede obtener, y esta podrá ser aplicada en el momento en que se quiera asegurar un dron marítimo.

### 3.2. NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN:

A continuación y atendiendo a la problemática anteriormente comentada, por la cual no se establecía un marco legislativo específico para los drones marinos, se ha decidido:

1. En cuanto a normativa de construcción del casco y los materiales con los que se puede construir, se seguirán las directrices y parámetros de la normativa propia de una sociedad de clasificación como es Lloyd's Register. Concretamente la normativa de "Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft", de Julio de 2019. En esta, Lloyd's nos da las directrices para la construcción y clasificación de un barco para servicio especial como es el de un dron, puesto que no puede ser considerado ni buque convencional ni artefacto naval.
2. Por lo que al ámbito de las radiocomunicaciones se refiere, puesto que el dron operara en puertos y en aguas costeras, se ha decidido seguir la normativa y reglamentación que el Ministerio de Fomento aplica a los buques de puerto clase S. Esta clase incluye todos aquellos barcos que operan en puerto y no salen de él. Esta clase S, sigue las directrices marcadas en el Real Decreto 1185/2006, 16 de octubre, Capítulo I, artículos del 1 al 30, del 40 al 48 y el artículo 63, este último se detalla a continuación:

*"Artículo 63. Buques de servicios de puerto de la clase S.*

*1. A excepción de lo indicado en el apartado 2, los buques de servicios de puerto que no salen al mar (clase S), con independencia de su tonelaje y de que dispongan de medios propios de propulsión, irán provistos de los equipos que se detallan a continuación:*

*a) Buques que dispongan de espacios cubiertos habitables: una instalación radioeléctrica de VHF capaz de transmitir y recibir en los canales 16, 6 y 13 en radiotelefonía y de transmitir y recibir comunicaciones generales utilizando los canales radiotelefónicos del apéndice 18 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, un equipo radiotelefónico portátil de VHF y una ecosonda.*

*b) Buques que no dispongan de espacios cubiertos habitables: un equipo de VHF fijo o portátil.*

*3. Cuando un buque de las características indicadas deba desplazarse a otra zona distinta de aquella en la que normalmente efectúa sus actividades, deberá comunicarlo a la Capitanía marítima, que podrá condicionar dicho desplazamiento a la instalación de los equipos radioeléctricos adecuados para cumplir los niveles mínimos de seguridad en dicho desplazamiento.*

*4. Los equipos de VHF de tipo fijo que se instalen en estos buques deberán ser aptos para utilizar las técnicas de LSD a partir del 1 de enero de 2007. "*



## **4. PROPUESTAS DE DISTINTOS DISEÑOS.**

Una vez buscada y encontrada la normativa adecuada en cuanto a la construcción, diseño y escantillado del casco y de regulación de los materiales óptimos y reglamentarios para la fabricación del dron, tema principal del trabajo, y vista la problemática existente dada por el vacío legal existente, se procederá a hacer un estudio de los principales diseños y formas que se encuentran en el mercado, para finalmente seleccionar dos diseños definitivos y así tener un punto de partida para el diseño del casco.

Tras observar algunos de los principales diseños que existen en el mercado, vemos que predominan dos tipos de cascos: monocasco o en forma de catamarán. A continuación se hará un análisis de los dos tipos de casco principales, exponiendo las principales virtudes y los principales defectos de cada uno de los modelos para así, en el siguiente apartado, elegir un modelo definitivo. Así pues encontramos dos modelos:

### **4.1. MONOCASCO**

Se entiende por monocasco la embarcación que posee un solo casco y una sola quilla a diferencia de los multicasco como pueden ser trimaranes o catamaranes. Esta palabra deriva del francés “monocoque” la cual significa un solo caparazón. En marina mercante denominamos monocasco a las embarcaciones que tienen una sola pared de separación a lo largo de toda la eslora de los tanques de carga, es decir, que no tienen doble casco.



Figura 23: Barco monocasco (Fuente: solanayachting.com)

Las principales virtudes y defectos de los buques o artefactos navales con monocasco son las siguientes:

- Este tipo de casco es más barato en cuanto a términos de precio final y de fabricación, puesto que el proceso de fabricación de los modelos, las formas que estos tienen y los moldes para crearlos los dotan de un método más sencillo para fabricarlo, y por ende menor precio en comparación de los catamaranes.
- En cuanto a navegación, los monocascos tienden a ceñir y a virar mejor que un catamarán, por lo cual tiene una mayor maniobrabilidad que los catamaranes. Entendemos por rumbo de ceñida a navegar lo más cerca posible del viento, es decir, formar el menor ángulo posible contra la dirección del viento, del mismo modo, el significado de virar es cambiar el rumbo pasando de una amura a otra de modo que viniendo el viento por un costado, después de haber virado, venga el viento por el opuesto.
- Este tipo de cascos tiene una manga considerablemente inferior a la de un catamarán, por lo cual necesita menos espacio de guardado o de amarre.
- Los monocascos tienen una mayor capacidad de adrizamiento, lo cual es beneficioso para situaciones de mala mar. Adrizar significa enderezar, poner derecho el buque cuando este está tumbado o escorado, contrarrestando la escora que produce el viento en la velas, esto se consigue con el peso de la tripulación, el lastre y la correcta puesta a punto de las velas junto a un buen uso del timón.
- Como contraposición a todo ello, estos pueden quedar más expuestos ante un mal temporal o una mala ola más grande de lo habitual, lo cual puede causar un vuelco.

A continuación se muestran alguno de los drones marítimos con monocasco que existen en el mercado:



Figura 24: USV APACHE 3 para control batimétrico (Fuente: geo-matching.com)



Figura 25: USV Q-BOAT 1800D para estudios oceanográficos (Fuente: nauticexpo.com)



Figura 26: USV Saildrone para monitoreo del estado de las aguas y del aire en tiempo real (Fuente: saildrone.com)

## 4.2. CATAMARÁN

Se define catamarán como embarcación o buque multi-casco, los dos cascos o flotadores se sitúan en paralelo uno del otro y son de igual tamaño, estos van unidos entre sí por un elemento que les hace de puente. Pueden ir propulsados a vela o a motor. La palabra catamarán “kattumaram” proviene del tamil, idioma que se habla en una pequeña región de la India y en el nordeste de Sri Lanka. “kattu” significa paquete y “maram” árbol, troncos unidos. Este tipo de embarcaciones fueron descubiertas por el británico William Dampier en 1697, mientras navegaba por el golfo de Bengala.



Figura 27: Catamarán (Fuente: yachtall.com)

Las principales virtudes y defectos de los buques o artefactos navales con forma de catamarán son las siguientes:

- En los últimos años se ha beneficiado de los métodos de construcción más modernos aumentando su solidez y capacidad de afrontar cualquier mar, este hecho le ha aportado un aumento en su popularidad. Aun así, este tipo de embarcaciones luchan contra el clasicismo o costumbrismo de la gente que prefieren un buque monocasco a un catamarán.
- No tienen apenas escora, es decir no tiene apenas inclinación al navegar, lo cual hace más cómoda y estable la navegación, haciendo así que no se altere ante pequeñas olas todo ello a mayor velocidad que un monocasco. Toda esa estabilidad es sin la necesidad de usar una orza, la cual cosa quita peso al buque. Esta estabilidad esta beneficiada por una mayor manga de este tipo de cascos en favor de los monocascos.
- Esa reducción de peso que se produce, hace que el calado que pueda tener un catamarán, en comparación de un monocasco, sea menor lo cual le permite tener una menor superficie de contacto con el agua y así llegar a zonas en las cuales se precisa de embarcaciones de poco calado como pueden ser playas o costas.
- Aprovechando esta menor superficie de contacto con el agua, se produce un mayor deslizamiento y ello conlleva un menor consumo de motor, a más a más el efecto túnel creado por el puente que une los dos cascos, produce una sustentación extra que facilita el deslizamiento y por lo tanto contribuye a un menor consumo.

- El hecho de tener los motores separados hace más sencillo que el catamarán vire y haga la ciaboga, maniobra que tiene como objeto hacer que un barco gire o vire en redondo en el menor espacio posible, facilitando maniobras como el fondeo, el atraque y desatraque en puerto.
- Este tipo de cascos suelen adquirir una velocidad media mayor a igualdad de esloras, lo cual le permite hacer singladuras, viajes, en menos tiempo.
- La mayor manga hace que este tipo de barcos tenga mayor espacio para habitabilidad o para albergar distintos sistemas, se calcula que para el espacio que pueda tener un monocasco de 52 pies de eslora son suficientes 42 pies de un catamarán.
- Una de las principales ventajas de los catamaranes es la imposibilidad de hundimiento que tienen, lo cual le confiere más seguridad, incluso con daños puede seguir flotando.
- Como contraposición a todas esas ventajas, encontramos que este tipo de embarcaciones precisan de un mayor espacio de guardado o amarrado.
- Dos cascos producen mayor rozamiento y otros efectos hidrodinámicos perjudiciales, sin embargo se pueden diseñar carenas con formas más afiladas (alargadas) y por lo tanto aumentar su velocidad.
- Posibilidad de que ante un temporal un patín quede al aire y causar así pantocazos molestos y peligrosos para la estructura del barco.
- Pierden velocidad fácilmente a rumbo de ceñida.

A continuación se muestran alguno de los drones marítimos con casco en forma de catamarán que existen en el mercado:



Figura 28: OceanAlpha USV M40 para oceanografía hidrográfica (Fuente: geo-matching.com)





Figura 29: USV CATAROB-ATS-03 para mediciones medioambientales (Fuente: geo-matching.com)

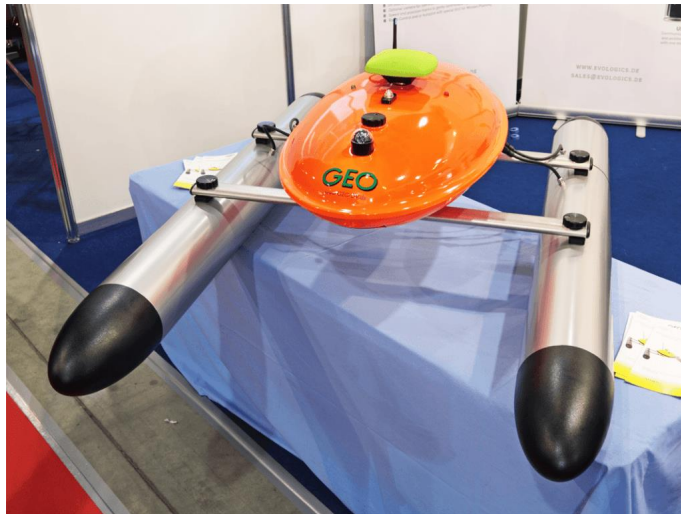


Figura 30: USV SONOBOT para patrullar, explorar y vigilar (Fuente: geo-matching.com)

## **5. JUSTIFICACIÓN DEL MEJOR DISEÑO Y ELECCIÓN DEL MISMO.**

### **5.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ELECCIÓN DEL TIPO DE CASCO**

Previamente a decidir si el dron precisa de una forma de monocasco o una de catamarán, se deben aclarar los aspectos más importantes en cuanto a la operativa y el entorno que va a tener el dron, para así ajustar lo máximo posible que el diseño se adapte a las necesidades de operación, puesto que toda embarcación debe diseñar dependiendo de la finalidad para la que se requiera.

La función principal de este dron es la de control medioambiental en puertos, allí analizará la calidad del aire y del agua, si bien es cierto que puede operar en aguas poco profundas como pueden ser las costas, el área de investigación y control principal será la portuaria.

Tras un breve estudio y análisis de la operativa en puerto de los drones que ya ejercen estas funciones en este sitio, se debe detallar que llevar la actividad a cabo por medio de estos drones no es fácil, puesto que al estar rodeados de buques que pueden, fácilmente, ser más de 50 veces en tamaño que un dron de control medioambiental, o el hecho de navegar en unas aguas que si bien están refugiadas y no tienden al oleaje, dado el tamaño de estos aparatos, los drones se ven altamente influenciados por las olas y las estelas provocadas por los buques que en el puerto operan. Por último, y si bien es cierto que aunque la mayoría podrían equipar un radar para así alertar de su presencia, muchos de los buques tienden a colisionar contra estos drones, ocasionándoles graves daños en el casco e incluso pudiendo

ocasionar el hundimiento del propio dron, debido a la colisión con el buque de mayor eslora, provocando así que se puedan perder los datos que se han recogido, los sensores que lleva el dron e incluso dependiendo del material de construcción contaminando el ecosistema o el fondo marino.

Dadas esas situaciones y analizados los puntos fuertes de cada tipo de casco expuestos en el apartado anterior, se ha decidido que el dron debe tener un casco cuya estructura sea la de catamarán. Aspectos como la mayor velocidad que puede alcanzar, el hecho de poder tener más espacio para albergar sistemas con una menor eslora o el calado mínimo que este tipo de cascos necesitan, pero sobre todo características importantes como el hecho que es un tipo de embarcación la cual es poco probable hundirla debido a sus características de construcción, un factor clave como la alta maniobrabilidad que estos cascos tienen debido a la separación de motores y lo fácil que es virar con ellos, pero sobre todas estas cosas el factor clave es la estabilidad, como se ha comentado los catamaranes gozan de una extraordinaria estabilidad, la cual no se ve afectada por olas pequeñas o estelas de otros barcos y hace más fácil y sencilla la navegación y por ende la toma de muestras.

Finalmente el diseño y construcción de las piezas por separado como puede ser el casco y los flotadores permiten, en apartados futuros, hacer con distintos materiales las diferentes partes del dron.

## **5.2. BASE DE DATOS**

Para el dimensionamiento del dron y su diseño, se ha hecho una pequeña búsqueda de los drones en forma de catamarán que hay en el mercado y de ellos se han recopilado sus medidas básicas. A partir de estas medidas básicas y mediante regresiones lineales, se obtendrán sus ecuaciones básicas, las cuales se expondrán más adelante, que relacionaran las medidas básicas que tendrá el dron. Si bien es cierto que la flota de drones en forma de catamarán no es extensa, se han escogido aquellos que tenían una eslora inferior a los 5 metros para así tener una cierta homogeneidad en cuanto a las medidas. Cabe destacar también que en algunos casos no se detalla las medidas básicas y por ello ha sido más complicada la recopilación de datos.

A continuación se exponen los 16 drones en forma de catamarán y sus medidas básicas como son:

- Eslora, L
- Manga, B
- Calado, T
- Altura total
- Velocidad máxima
- Peso total con carga máxima

Nombre del dron	Eslora L (m)	Manga B (m)	Calado T (m)	Altura total (m)	Velocidad máxima (kn)	Peso total con carga máxima (Kg)
OceanAlpha USV ESM30	1,15	0,75	0,2	0,43	8	26
OceanAlpha USV ME120	2,5	1,4	0,4	0,7	10	150
OceaAlpha USV SS30	1,15	0,75	0,25	0,43	3	31
CAT-Surveyor Subsea Tech	3	1,6	0,36	1,2	5	270
Heron Clearpath	1,35	0,98	0,12	0,32	3,3	28
Sea Robotics ASV 2.5	2,5	1,25	0,15	1	7,5	55
Sea Robotics SR-Surveyor M1.8	1,8	0,91	0,17		7	49
Deep Ocean Engineering Phantom H-1750	1,7	1	0,28	0,5	9,5	99
Maritime Robotics Otter USV	2	1,08	0,25	1,06	5,5	65
Marine Advanced Research WAM-V16 Boss	4,9	2,9	0,1	1,3	11	375
USS Inception Mark II	1,92	1,2	0,2	0,8	3,2	40



Novumare Technologies Novu-X	1,5	1,76	0,35	0,9	9	56
L3 ASV C-Cat 3	3,02	1,55	0,39	1,4	10,5	340
L3 ASV C-Enduro	4,2	2,45	0,4	2,8	6	500
SiraLab Hydrometria USV Prototype 01	1,6	1,25	0,25		5	100
EvoLogics SONOBOT	1,32	0,92	0,15	0,45	6,5	30

Tabla 2: Base de datos (Fuente: elaboración propia)

### 5.3. CALCULO DE LAS MEDIDAS BASICAS DEL DRON

Una vez obtenida la base de datos, mediante el uso de la herramienta de regresión lineal y las gráficas que relacionan las dimensiones básicas de los drones anteriores, se sacaran las ecuaciones de las rectas, las cuales nos permitirán extrapolar las dimensiones de nuestro dron. La mayoría de regresiones están hechas a partir de la eslora, puesto que esta magnitud es la que se define desde el inicio de proyecto.

- Manga,  $B = f(\text{Eslora}, L)$
- Calado,  $T = f(\text{Eslora}, L)$
- Velocidad,  $v_{\text{máx}} = f(\text{Eslora}, L)$
- Altura =  $f(\text{Eslora}, L)$

A continuación, se observan los gráficos realizados con sus ecuaciones de recta.

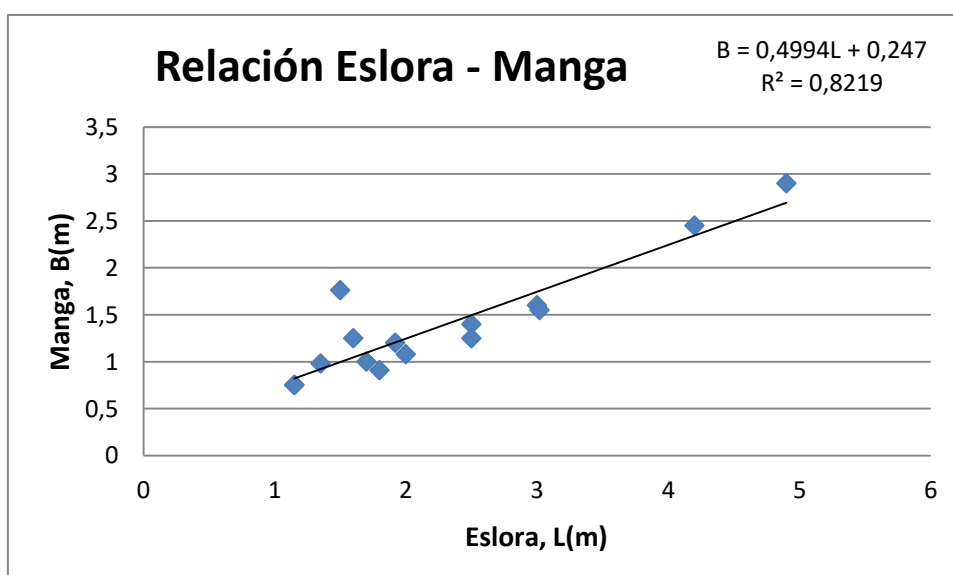


Figura 31: Gráfico de regresión lineal eslora-manga (Fuente: elaboración propia)

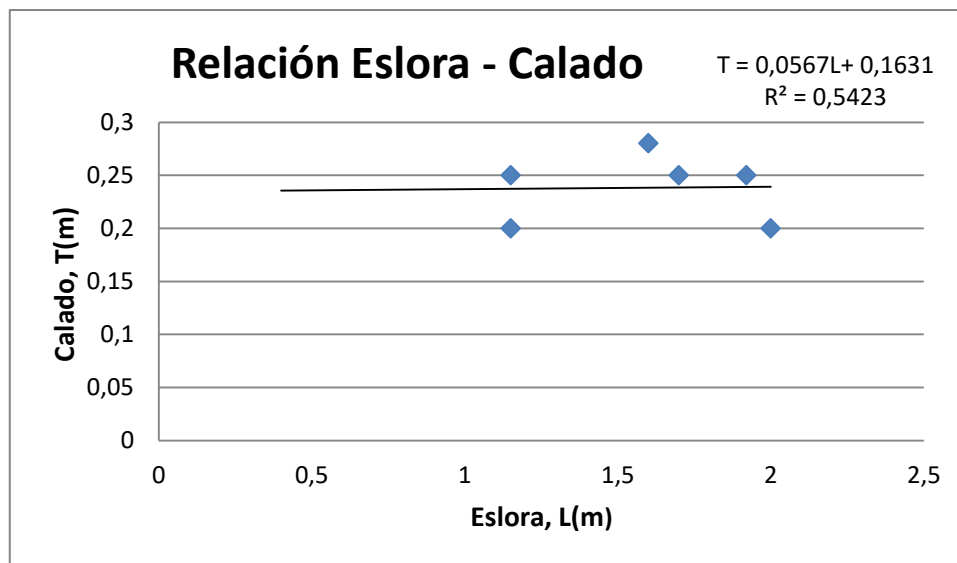


Figura 32: Gráfico de regresión lineal eslora-calado (Fuente: elaboración propia)

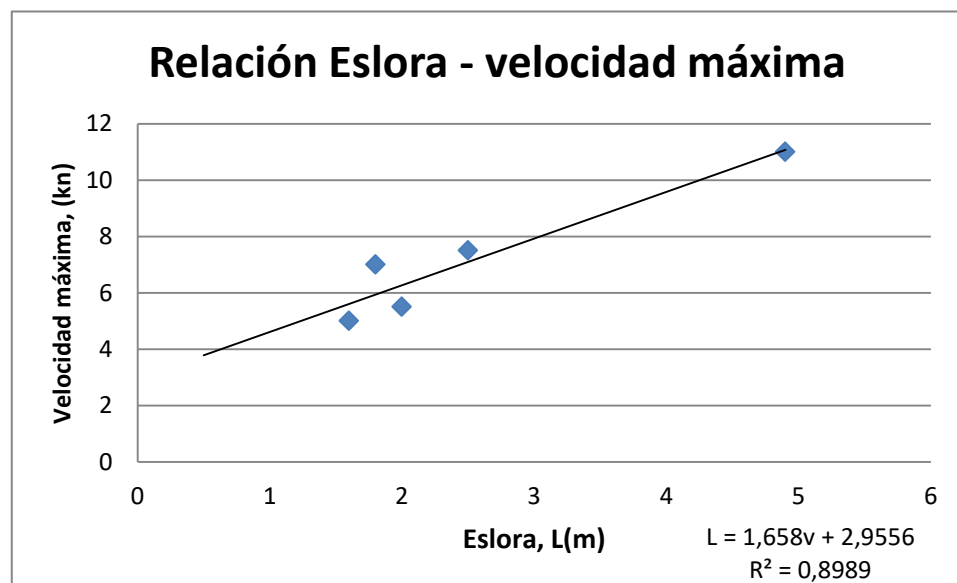


Figura 33: Gráfico de regresión lineal eslora - velocidad máxima (Fuente: elaboración propia)

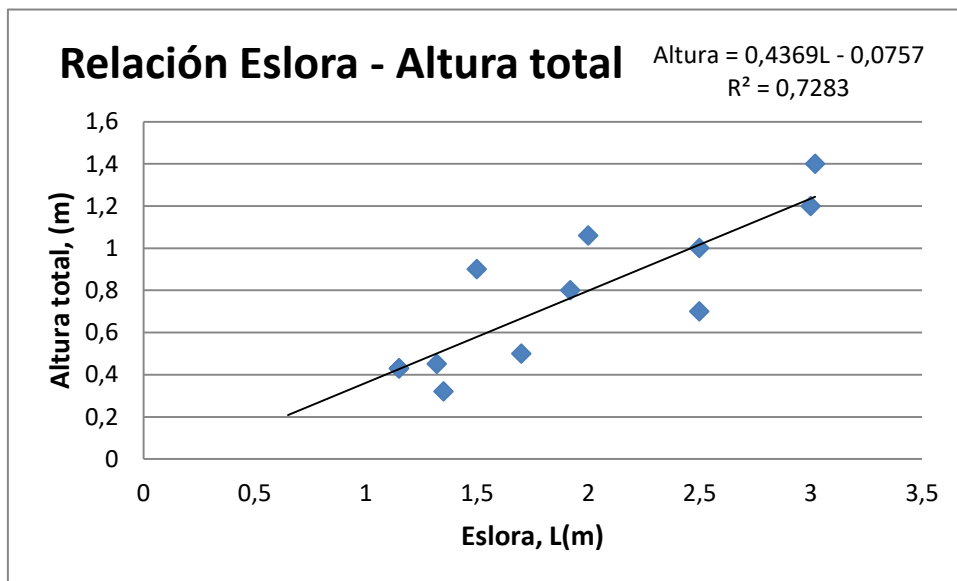


Figura 34: Gráfico de regresión lineal eslora - altura (Fuente: elaboración propia)

De esta manera, introduciendo una eslora de diseño de 0,70 metros, se obtienen el resto de dimensiones del buque. A parte de estas curvas de regresión, se tendrán en cuenta las medidas y especificaciones básicas del dron SONOBOT de la empresa EvoLogics, el cual tiene un diseño y unas dimensiones muy cercanas y parecidas a las que se quieren para este dron.

Nombre del dron	Eslora L (m)	Manga B (m)	Calado T (m)	Altura total (m)	Velocidad máxima (kn)	Peso total con carga máxima (Kg)
EvoLogics SONOBOT	1,32	0,92	0,15	0,45	6,5	30

Tabla 3: Dimensiones del dron de EvoLogics SONOBOT (Fuente: elaboración propia)

Así pues, las dimensiones básicas y finales del casco del dron son las siguientes:

Eslora	0,70 m
Manga	0,60 m
Calado	0,13 m
Altura	0,28 m
V máx.	4,5 kn

## **5.4. DISEÑO DE FORMAS DEL CASCO**

Tal y como se ha mencionado con anterioridad, el fin de esta embarcación no es otro que el de seguir una serie de puntos de muestreo y tomar datos sobre la calidad medioambiental del lugar, por ello, se hace de especial importancia factores como la estabilidad o la agilidad.

Dados estos factores, se decide diseñar el dron en dos partes, un habitáculo superior en el cual irán los sistemas de sensores, así como las baterías y elementos que no se quieran poner en riesgo en una colisión. Este habitáculo, tendría la función de una especie de caja negra del dron.

Por otro lado, en cuanto a los flotadores del dron, se diseñaran de modo que un sistema de propulsión waterjet pueda tener cabida dentro del propio flotador. Debido a que este elemento es el que proporcionaría la estabilidad y la flotabilidad, se pretende diseñarlo de forma que tenga el máximo espacio hueco dentro de él y así tener mucha flotabilidad, por otro lado los materiales de construcción de estos flotadores se intentarán que sean de bajo costo y fácilmente reemplazables.

A la hora de desplazarse de un punto de muestreo a otro, se diseñará el casco para que trabaje en régimen de semi-planeo.

### **5.4.1. Estudio de Formas para que la embarcación funcione en régimen de semidesplazamiento.**

Tal y como se dice en el principio de Arquímedes, “aquel cuerpo que este total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, experimentará un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido desalojado”. Así pues, la capacidad de flotación se debe a la presión hidrostática ejercida sobre el casco que, con una velocidad igual a cero, dichas fuerzas hidrostáticas son iguales al peso del volumen de agua desalojada.

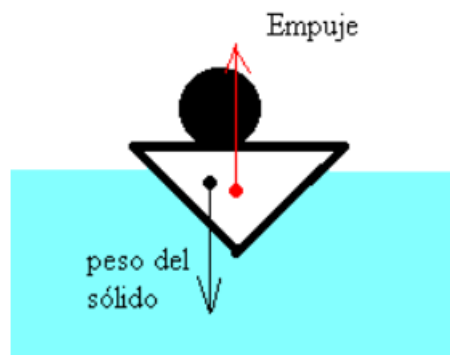


Figura 35: Gráfico de fuerzas hidrostáticas de un cuerpo parcialmente sumergido (Fuente: sc.ehu.es)

Simplificando, se pueden considerar cada uno de los flotadores del catamarán como una ``placa plana'', esta, una vez se pone en movimiento ejerce una fuerza hidrodinámica la cual provoca que las partículas de agua que están junto a esta placa, pegadas por así decirlo, se aceleren. Dichas partículas ejercerán una fuerza de igual dirección y sentido que la producida por la placa. La presión hidrodinámica aumentará a medida que la velocidad de la placa se vaya incrementando, levantando esta, a una condición de planeo, esto se conoce como sustentación.

Dada la condición de trabajo que se ha comentado anteriormente, el dron no llegará a alcanzar dichas características de planeo, por lo que se verán las condiciones que tiene que tener una embarcación para trabajar en semidesplazamiento.

Con el fin de definir claramente si una embarcación trabaja en régimen de desplazamiento, semidesplazamiento o planeo, es frecuente la interpretación del número de Froude de la embarcación. Este número establece una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido, dicho número es adimensional.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

Dónde:

- V: Velocidad (m/s)
- G: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- L: Eslora (m)

Según el valor que se obtenga en esta fórmula, se puede determinar el régimen de desplazamiento de una embarcación. Como se observa:

- Régimen de desplazamiento: Propio de las embarcaciones con un número de Froude comprendido entre 0 y 0,6. En este caso, la sustentación es despreciable.
- Régimen de semidesplazamiento: Lo encontramos en embarcaciones que tengan un número de Froude con un valor entre 0,6 y 1,3. En este caso, el centro de gravedad de la embarcación recupera su posición inicial debido a la ayuda de las fuerzas hidrodinámicas.
- Régimen de planeo: estas embarcaciones tienen un número de Froude superior a 1,3. Una fuerza hidrodinámica mayor y más grande que en el régimen anterior provoca que el centro de gravedad se sitúe en valores positivos, es decir, retrasando su posición inicial. Para un efecto de planeo toda la fuerza de sustentación ha de ser igual al peso de la embarcación.

Cabe destacar que en la transición entre el semidesplazamiento y el planeo existe, dependiendo de las características de la embarcación, la condición de semi-planeo, la cual se produce cuando el centro de gravedad empieza a situarse en valores positivos y la sustentación dinámica cobra importancia con relación a las fuerzas de flotabilidad. En otras palabras, la superficie mojada y el desplazamiento presentan valores inferiores al modo reposo.

Las características principales de los cascos con semidesplazamiento son las siguientes:

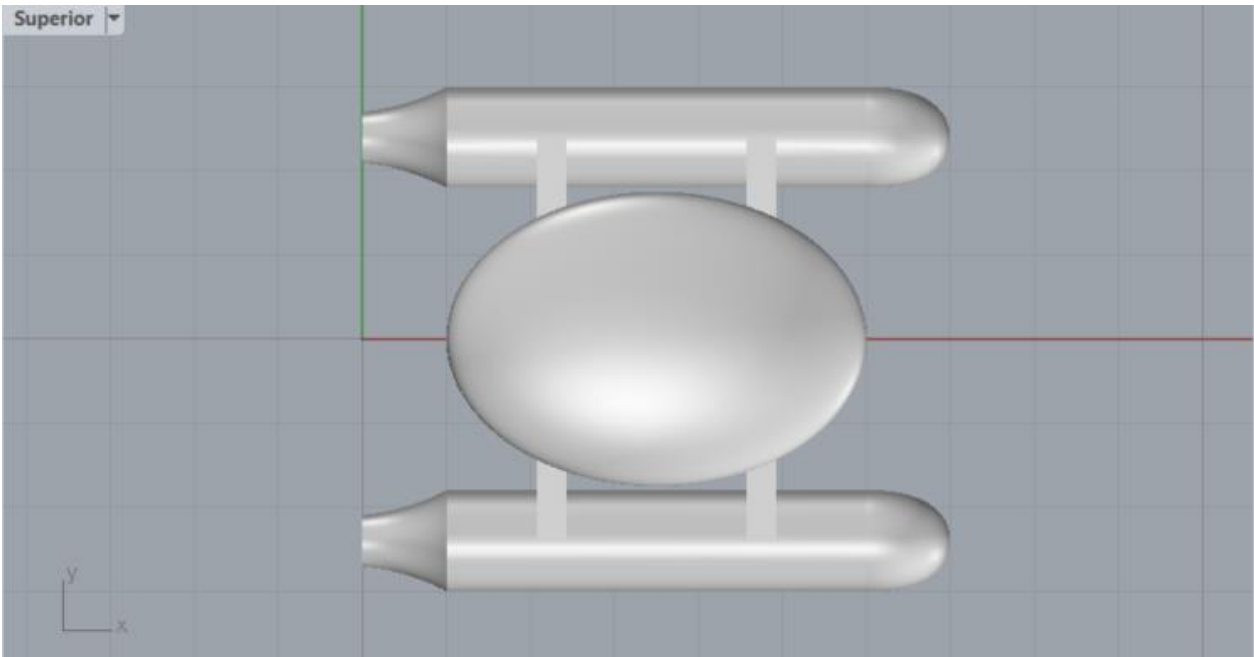
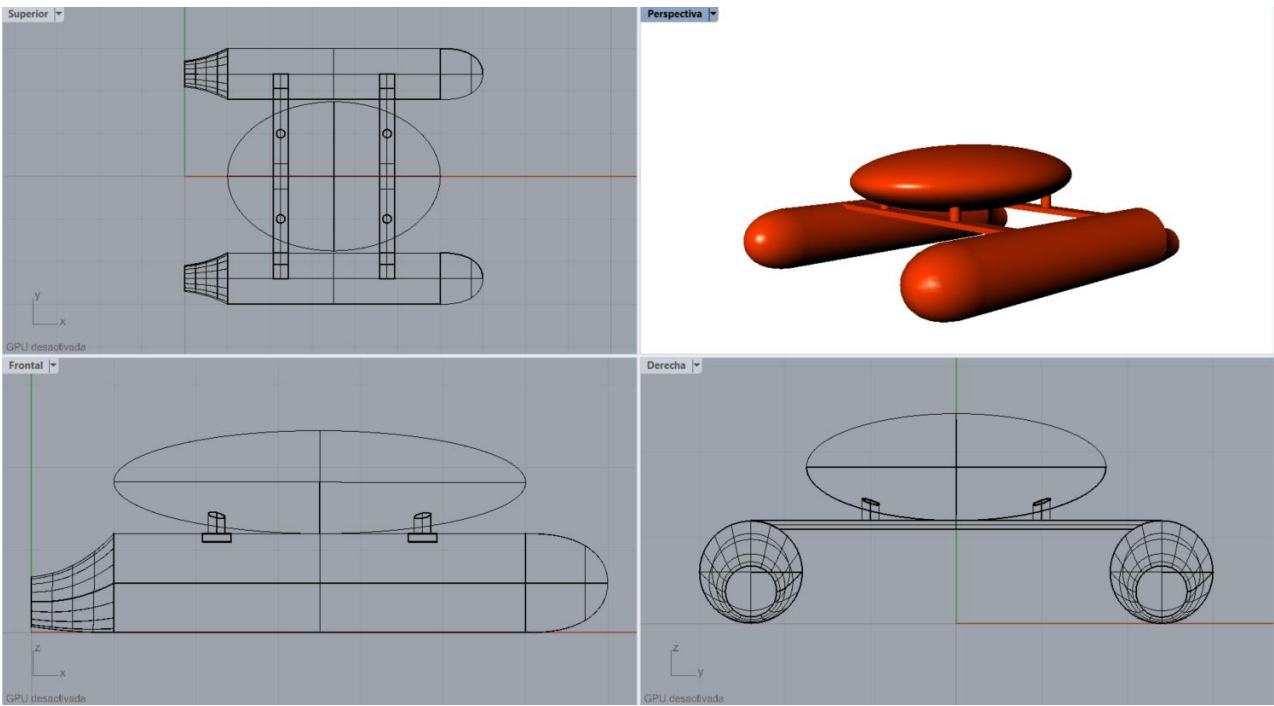
- Popas de espejo parcialmente sumergidas y más anchas que las embarcaciones de desplazamiento. Proporcionan tanto flotabilidad a bajas velocidades, como sustentación dinámica a altas velocidades. Este diseño permite que, el barco, una vez alcanzada cierta velocidad, sea capaz de sobrepasar la ola generada, para así levantar ligeramente el casco y reducir el trimado; aunque el barco no alcanza la condición de planeo, se estabiliza en la conocida fase de pre-planeo.
- Formas redondeadas en popa y pantoque.
- Longitudinales rectilíneos con suaves pendientes que permitan un flujo correcto ascendente desde la sección máxima hasta su separación en el espejo.
- Curvas de áreas prácticamente rectas.

Así pues, viendo todo lo mencionado anteriormente, se procede a diseñar la formas del dron mediante el programa de dibujo en 3D Rhinoceros.

#### **5.4.2. Evolución del proceso de diseño**

Para empezar, y como se ha comentado anteriormente, se ha escogido un modelo base como es el SONOBOT de la empresa EvoLogics, el cual tiene un diseño de formas bastante parecido al que se quiere obtener en este proyecto.

Por ello y uniendo los datos de las curvas de regresión con los del dron modelo, se llegan a los siguientes diseños:



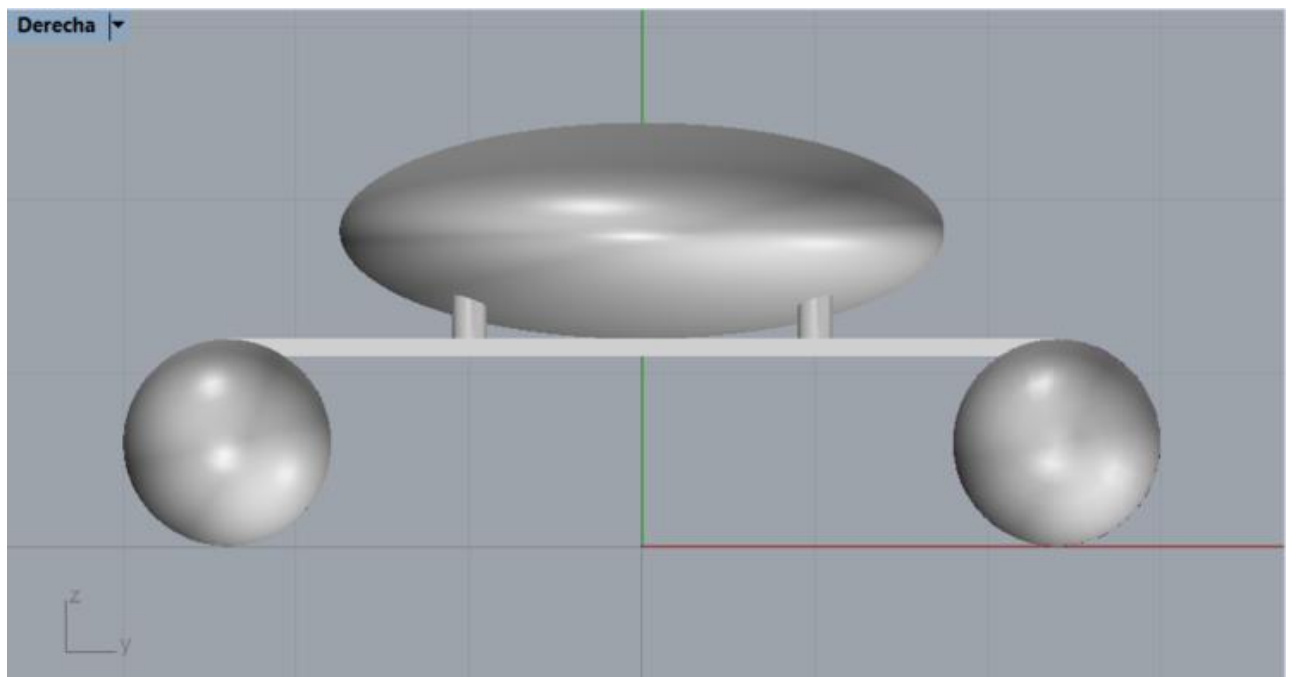
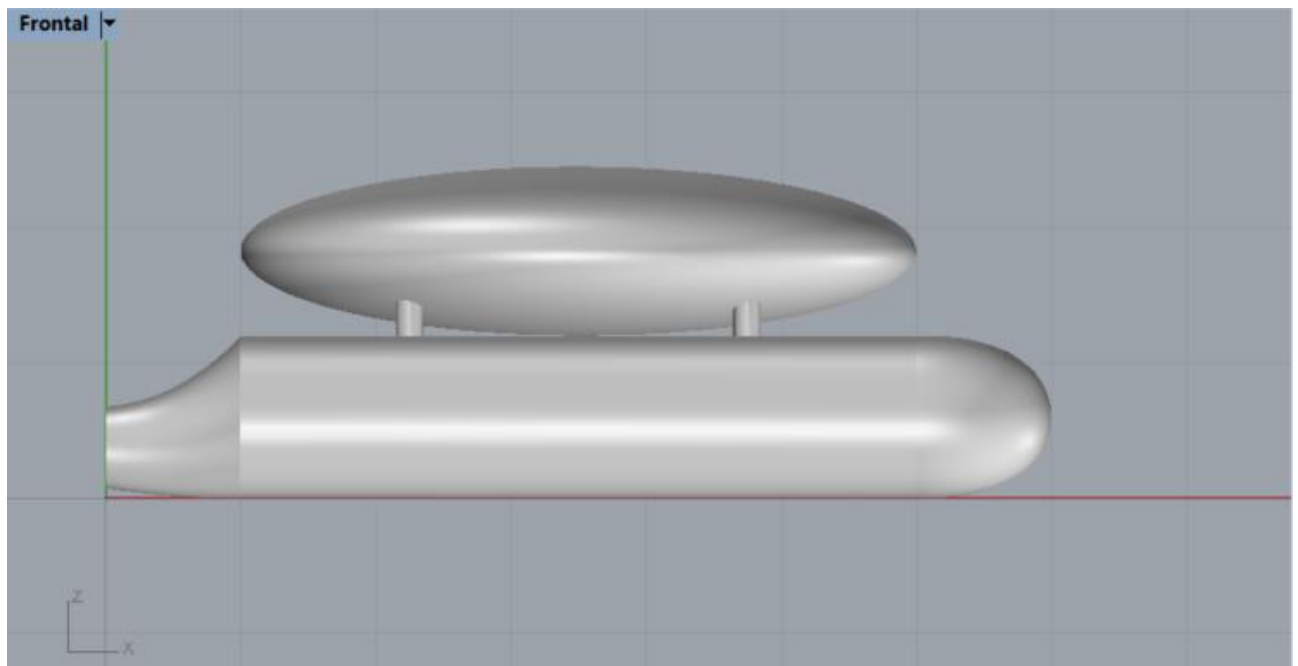


Figura 36: Vistas del drone definitivas (Fuente: elaboración propia)



Las especificaciones finales del drones son:

Eslora	0,70 m
Eslora de flotación	0,57 m
Manga	0,60 m
Manga de flotación	0,54 m
Calado	0,13 m
Altura	0,28 m
V máx.	4,5 kn
Desplazamiento final	14,5 Kg
Centro de flotación (desde la pp)	0,261 m
Cb (coeficiente de bloque)	0.39
Numero de Froude	0.88

## 5.5. CALCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO

Para el sistema propulsivo del dron se ha elegido un sistema waterjet para la propulsión del dron. Este sistema irá integrado en el interior del flotador, a más a más este sistema nos permite integrar la dirección y la propulsión en un mismo sistema.

### 5.5.1. SISTEMA WATERJET

Este tipo de propulsión funciona mediante un hidrojet o chorro de agua. Consta de una hélice la cual está situada en el interior de un conducto con una tobera al final, por el cual pasa agua recogida del fondo del casco.

El funcionamiento de un hidrojet se debe empezar a explicar mediante el elemento principal de este sistema el cual no es otro que el que hace que el agua pueda acelerarse, este es la bomba, que está accionada por un motor. Ambos están unidos entre sí mediante un eje el cual hace que cuando el motor gira la bomba gire a la par debido a ello, ésta “absorbe” agua por un lado y la bombea por el otro lado. La bomba debe trabajar dentro del agua, ya que mientras gira actúa como si impulsara el agua que pasa por ella, acelerando la masa de agua y generando una diferencia de presiones producidas entre las superficies delantera y trasera de las palas de la bomba. Esta diferencia de presiones y debido a la ley de acción-reacción consigue que el buque avance.

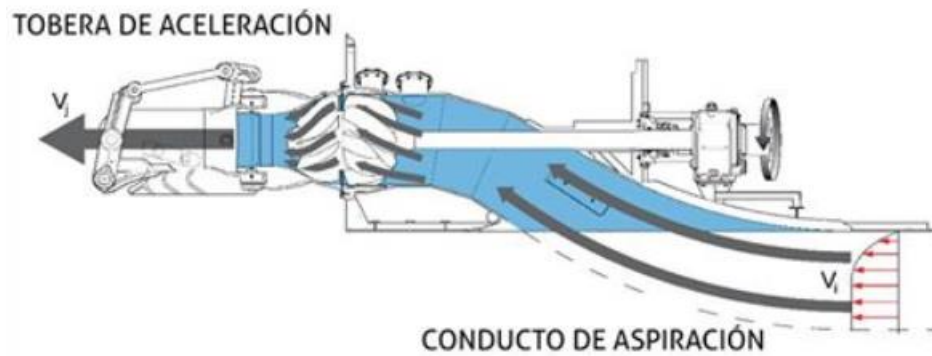


Figura 37: Funcionamiento de un Waterjet (Fuente: worldmaritimeaffairs.com)

Ventajas del sistema propulsivo tipo waterjet:

- Debido a las características en las que trabaja la hélice de la bomba, este sistema permite una mayor velocidad de la hélice antes de que aparezca el fenómeno de la cavitación. Ello se debe a que dentro del conducto existe una elevada presión interna estática.
- Ofrece una elevada potencia con respecto al volumen que ocupa todo el sistema propulsivo, se puede equipar un motor más pequeño para obtener un mayor número de revoluciones y así más velocidad.
- Gracias a que la hélice está en el interior de un conducto, se protege a esta de posibles obstrucciones o incluso de golpes que pueda sufrir contra elementos externos como pueden ser la rocas.
- Dado que solo se precisa que la toma de agua este sumergida, es ideal para que la embarcación trabaje en aguas poco profundas.
- Este tipo de sistemas permiten una alta maniobrabilidad con la adición de una tobera orientable.
- Bajo mantenimiento. Tiempo mínimo de inactividad debido a rutinas sencillas de mantenimiento.
- Facilidad de montaje.

Desventajas del sistema propulsivo tipo waterjet:

- Más complejidad que los sistemas convencionales de propulsión.
- La complejidad del sistema, hace que su coste sea un poco más elevado que los otros sistemas.
- Perdidas por fricción en la tubería.
- Debe tenerse cuidado con la rejilla que está situada en la entrada de la tubería, ya que esta puede obstruirse a causa de elementos como las algas marinas.

#### Valoraciones Finales:

Valorando los aspectos económicos, técnicos y la necesidad que se tiene a la hora de propulsar el dron, se ha tomado la decisión de propulsar el dron mediante un sistema waterjet debido a que dadas las características de la embarcación, se puede aprovechar la parte de los flotadores para instalar los waterjets.

A parte de por el aspecto de las características del dron comentado anteriormente, cabe destacar características importantes que proporciona este sistema como son la alta maniobrabilidad y el bajo mantenimiento necesario.

#### **5.5.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE Y DE LA PORTENCIA REQUERIDA**

En el siguiente apartado se procede a calcular la resistencia al avance para poder así determinar la potencia requerida para así escoger el mejor motor que se adecúe a la embarcación y sus necesidades propulsivas.

Para obtener dichos datos, existen algunos métodos, empíricos y/o teóricos, que nos permiten calcular todas esas fuerzas resistivas y de avance. En el caso de este trabajo, se ha elegido el método Savitsky. Este método empírico, permite determinar y conocer la resistencia al avance y la potencia necesaria. El método Savitsky, adaptado a embarcaciones, se basa en estudios realizados sobre placas planas las cuales estaban en régimen de planeo.

La realización de todos los cálculos para este método es laboriosa y pesada para hacerlas a mano, por ello para aplicar este método de cálculo se debe programar una hoja de cálculo que servirá para evaluar el comportamiento hidrodinámico de la embarcación. Por todas estas razones, a día de hoy el ingeniero naval dispone de la ayuda de la informática y de distintos programas para el cálculo de estas variables, obteniendo unos resultados precisos y rápidos.

Dentro del programa Maxsurf Resistance se encuentra el apartado Hullspeed, este nos proporcionara los resultados tan solo definiendo la línea de flotación de la embarcación y seleccionando un rango de velocidades de trabajo. Cabe destacar que dentro del programa Maxsurf Resistance se pueden seleccionar distintos métodos de análisis. Se seleccionara el método Savitsky pre-planning.

Aplicando todo lo dicho con anterioridad, se procede al uso del Maxsurf Resistance para obtener la resistencia al avance y la potencia necesaria.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del dron cuando se varía la velocidad y se puede apreciar cómo afecta ello al trimado. Se puede apreciar que para una velocidad de 4,5 kn de diseño y un régimen de semi-plano como ya se ha comentado el ángulo de trimado es 0º, lo cual es positivo, para la estabilidad del dron.

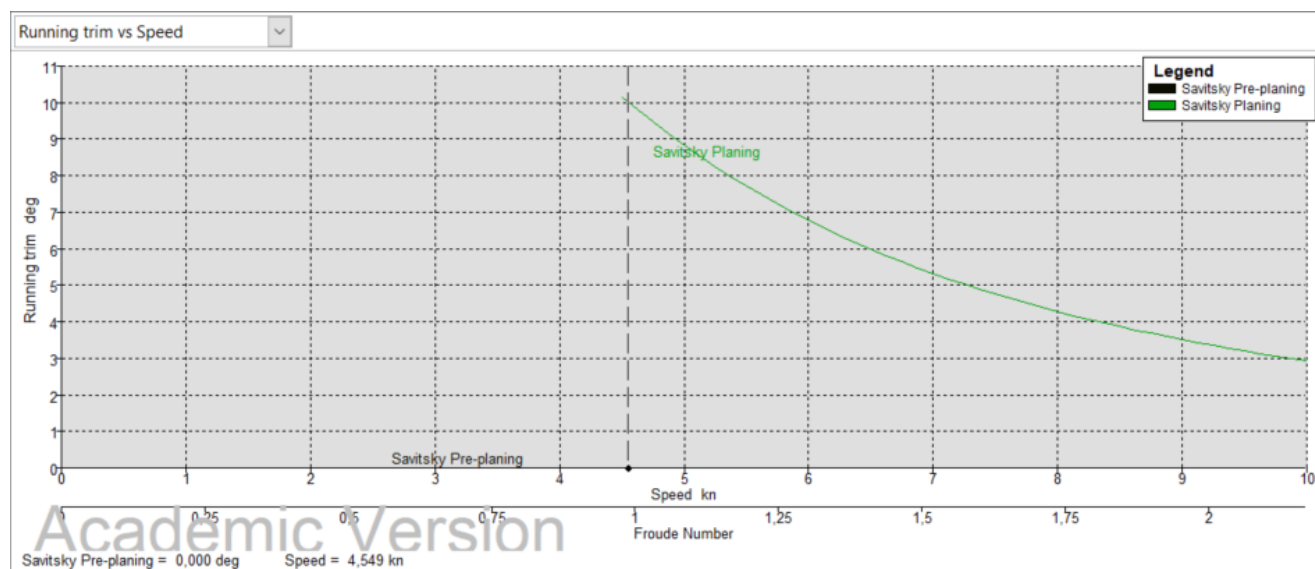


Figura 38: Gráfico Trimado - Velocidad, Maxsurf Resistance (Fuente: elaboración propia)

	Savitsky Pre-planing X kn	Savitsky Pre-planing Y deg	Savitsky Planing X kn	Savitsky Planing Y deg
1	3,000000	0,000000	4,500000	10,148020
2	3,125000	0,000000	4,625000	9,802904
3	3,250000	0,000000	4,750000	9,469519
4	3,375000	0,000000	4,875000	9,148221
5	3,500000	0,000000	5,000000	8,839138
6	3,625000	0,000000	5,125000	8,542230
7	3,750000	0,000000	5,250000	8,257326
8	3,875000	0,000000	5,375000	7,984165
9	4,000000	0,000000	5,500000	7,722421
10	4,125000	0,000000	5,625000	7,471719
11	4,250000	0,000000	5,750000	7,231660
12	4,375000	0,000000	5,875000	7,001825
13	4,500000	0,000000	6,000000	6,781788
14	4,625000	0,000000	6,125000	6,571124
15	4,750000	0,000000	6,250000	6,369412
16	4,875000	0,000000	6,375000	6,176239
17	5,000000	0,000000	6,500000	5,991204
18	5,125000	0,000000	6,625000	5,813919
19	5,250000	0,000000	6,750000	5,644012
20	5,375000	0,000000	6,875000	5,481125
21	5,500000	0,000000	7,000000	5,324916
22	5,625000	0,000000	7,125000	5,175059
23	5,750000	0,000000	7,250000	5,031243
24	5,875000	0,000000	7,375000	4,893174

Figura 39: Tabla de resultados de la gráfica Trimado – Velocidad (Fuente: elaboración propia)

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Savitsky Pre-planin g Resist. (N)	Savitsky Pre-planin g Power (kW)	Savitsky Planing Resist. (N)	Savitsky Planing Power (kW)
1	0,000	0,000	0,000	--	--	--	--
2	0,250	0,054	0,084	--	--	--	--
3	0,500	0,109	0,168	--	--	--	--
4	0,750	0,163	0,253	--	--	--	--
5	1,000	0,217	0,337	--	--	--	--
6	1,250	0,271	0,421	--	--	--	--
7	1,500	0,326	0,505	--	--	--	--
8	1,750	0,380	0,589	--	--	--	--
9	2,000	0,434	0,674	--	--	--	--
10	2,250	0,488	0,758	--	--	--	--
11	2,500	0,543	0,842	--	--	--	--
12	2,750	0,597	0,926	--	--	--	--
13	3,000	0,651	1,010	24,33	0,038	--	--
14	3,250	0,706	1,095	35,60	0,060	--	--
15	3,500	0,760	1,179	41,05	0,074	--	--
16	3,750	0,814	1,263	42,29	0,082	--	--
17	4,000	0,868	1,347	42,16	0,087	--	--
18	4,250	0,923	1,431	40,25	0,088	--	--
19	4,500	0,977	1,516	36,49	0,084	26,91	0,062
20	4,750	1,031	1,600	37,19	0,091	25,53	0,062
21	5,000	1,085	1,684	37,55	0,097	24,29	0,062
22	5,250	1,140	1,768	37,98	0,103	23,18	0,063
23	5,500	1,194	1,852	38,88	0,110	22,21	0,063
24	5,750	1,248	1,937	40,00	0,118	21,36	0,063
25	6,000	1,302	2,021	--	--	20,62	0,064
26	6,250	1,357	2,105	--	--	19,99	0,064
27	6,500	1,411	2,189	--	--	19,45	0,065
28	6,750	1,465	2,273	--	--	19,00	0,066
29	7,000	1,520	2,358	--	--	18,63	0,067
30	7,250	1,574	2,442	--	--	18,34	0,068
31	7,500	1,628	2,526	--	--	18,11	0,070
32	7,750	1,682	2,610	--	--	17,95	0,072
33	8,000	1,737	2,694	--	--	17,84	0,073
34	8,250	1,791	2,779	--	--	17,79	0,075
35	8,500	1,845	2,863	--	--	17,78	0,078
36	8,750	1,899	2,947	--	--	17,82	0,080
37	9,000	1,954	3,031	--	--	17,91	0,083
38	9,250	2,008	3,115	--	--	18,03	0,086
39	9,500	2,062	3,200	--	--	18,19	0,089
40	9,750	2,117	3,284	--	--	18,38	0,092
41	10,000	2,171	3,368	--	--	18,61	0,096

Figura 40: Hullspeed, tabla de resultados (Fuente: elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura 40, en la tabla se nos muestra como para un régimen de semi-planeo y mediante el método de Savitsky, con una velocidad de 4,5 kn la resistencia al avance es 36.49 Newtons. Estos resultados son muy favorables a nuestros intereses ya que gracias a esto se podrán equipar motores relativamente pequeños.

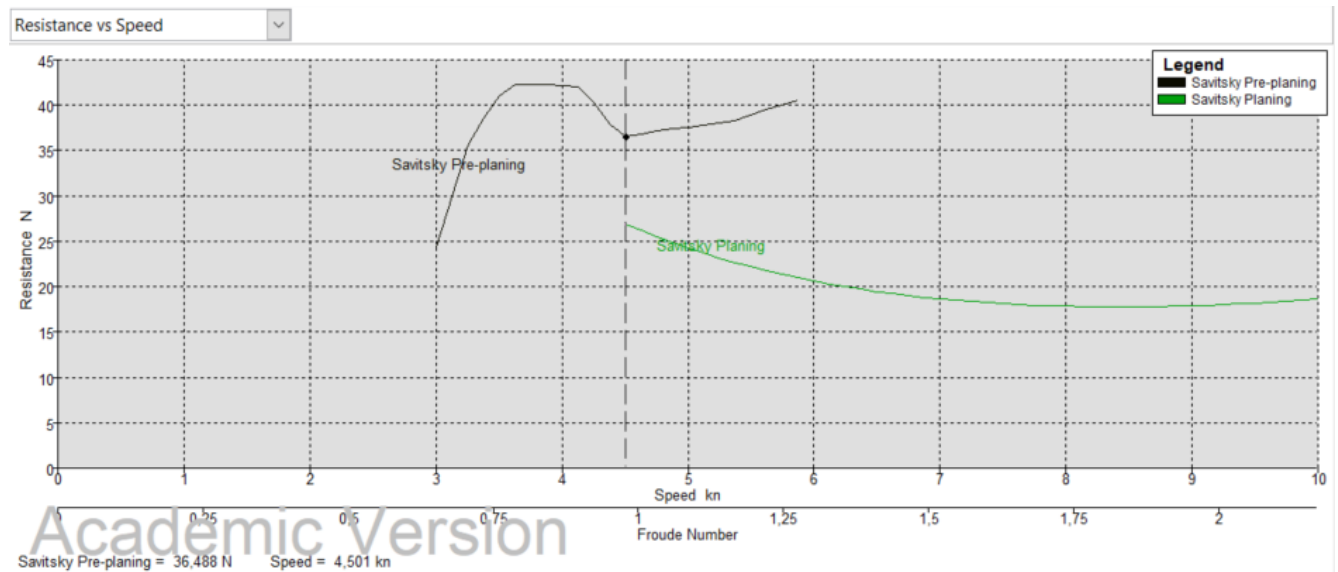


Figura 41: Gráfico Resistencia – Velocidad (Fuente: elaboración propia)

Para poder calcular la potencia que necesita el motor, se debe calcular primero la potencia de remolque (EHP) necesaria para el barco, la cual se obtiene con el producto de la resistencia total al avance ( $R_T$ ), extraída del Maxsurf Resistance, multiplicado por la velocidad a la que se quiere operar ( $v$ ).

$$EHP = R_T \times v$$

$$EHP = 0,03649 \times (4,5 \times 0,5144)$$

$$EHP = 0,08447 \text{ kW}$$

Como se puede apreciar este resultado concuerda con el obtenido en el Programa de cálculo de la resistencia. En él se ve un resultado de 0,084 kW de potencia necesaria, al igual que en el cálculo anterior. Si dividimos la potencia de remolque (EHP) entre el producto de los rendimientos propulsivo ( $\eta_D$ ) y el mecánico ( $\eta_m$ ), se obtiene aquello que se conoce como la potencia del propulsor motor, BHP (brake horse power). Esta potencia es la que ha de suministrar a la salida del motor antes de conectarse al eje de transmisión.

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_D \times \eta_m}$$

Se cogerán los siguientes valores para los rendimientos tanto mecánico como propulsivo, estos han sido escogidos de las especificaciones de distintos sistemas waterjet del mercado.

$$\eta_D = 0,90.$$

$\eta_m$  = los valores de este rendimiento oscilan entre 0,94 y 0,96. Por ello se ha elegido un valor medio de 0,95.

$$BHP = \frac{0,08447}{0,90 \times 0,95}$$



$$BHP = 0,09880 \text{ kW}$$

Finalmente para poder dimensionar correctamente el motor necesario, se deben considerar algunos aspectos que podrían afectar al rendimiento del mismo como la fuerza del oleaje o las condiciones de trabajo. Se aumentara un 5% el valor del BHP para tener en cuenta el oleaje y un 10% para el margen de trabajo del mismo.

$$BHP = 0,09880 \times 1,15$$

$$BHP = 0,1136 \text{ kW}$$

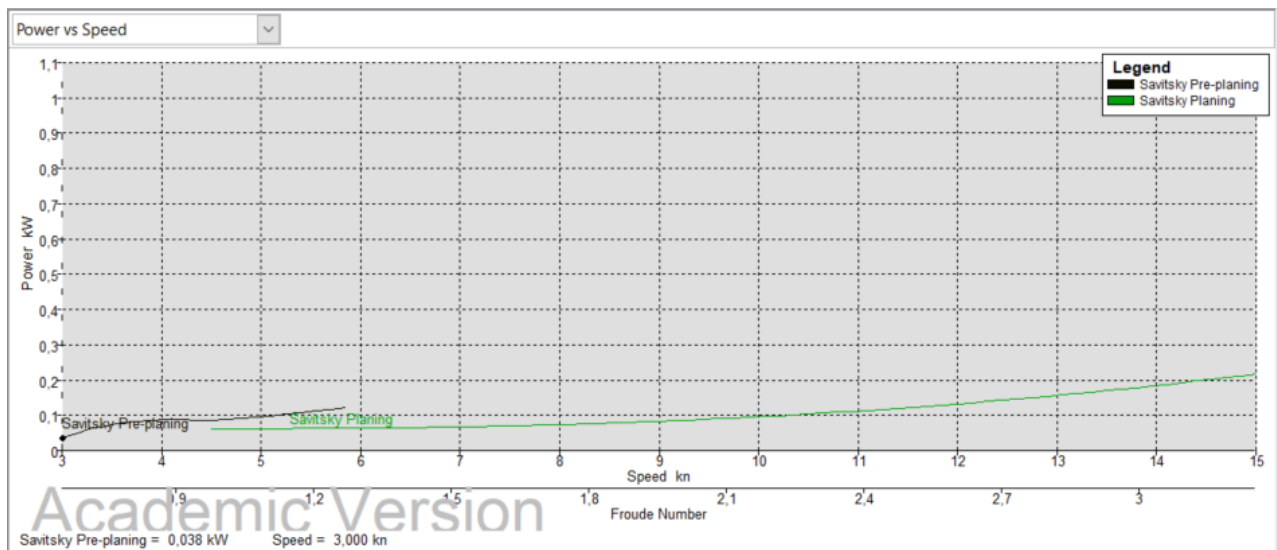


Figura 42: Gráfico Potencia – Número de Froude (Fuente: elaboración propia)

Resumen final del sistema propulsivo:

Analizando los resultados obtenidos mediante el método Savitsky, el uso del Maxsurf Resistance con el hullspeed y el cálculo manual de sobredimensión, se puede observar que los valores obtenidos de resistencia al avance, de potencia necesaria para alcanzar la velocidad de diseño y los ángulos de trimado en condiciones de semi-planeo son óptimos y correctos.

Por ello se instalaran dos motores eléctricos de 60 W, situados con sus toberas, uno en cada uno de los flotadores para así obtener los 120W necesarios para el sistema propulsivos del barco.



### 5.5.3. Elección de los motores y de sus baterías.

Como ya se ha comentado, el drone será equipado con un sistema propulsivo waterjet. Actualmente en el mercado, si bien es cierto que su uso no está más allá del mundo del radio control, gracias a este mundo de los radio controles se pueden encontrar las piezas para la construcción de un dron marino.

Accediendo a páginas web que venden este tipo de productos, encontramos una gran gama de motores usables para el dron y que proporcionarían la potencia necesaria para el empuje del dron, calculado previamente. A continuación se muestra la unidad de potencia seleccionada:

Modelo seleccionado: MABUCHI 540-6527 Brushed Motor con una potencia de 65W.



Figura 43: Motor seleccionado (Fuente: hobbyking.com)

Como se puede ver el motor elegido tiene una potencia de 65W, que sumados a un motor del mismo modelo sumarian la potencia de 130W, suficiente para la propulsión del dron. Así pues, situado un waterjet con su respectivo motor de 65W en cada flotador se conseguiría propulsar el dron a la velocidad de trabajo de diseño.

Potencia	65W	Kv (rpm/v)	2340
Max Voltaje	9,6 V	Longitud	58 mm
Max Amperios	6.8A	Diámetro	36 mm
Resistencia	0.17 mΩ	Peso	160 g

Tabla 4: Especificaciones técnicas del motor (Fuente: elaboración propia)

Se podría llegar a la conclusión que el motor es pequeño o no es el necesario para propulsar el dron, por su apariencia, sin embargo, mirando las especificaciones técnicas de los demás drones similares al del proyecto, la potencia a usar para propulsar esta embarcación está acorde con su tamaño.

En cuanto a las baterías, tanto el número como la cantidad, por lo que respecta al sistema propulsivo el cual es el que más consume, para una autonomía de 4 horas se necesitaría un suministro de 21 Ah. Como se precisará también de más energía para abastecer el sistema de sensores así como el de comunicaciones, más adelante se dará el dato definitivo de las baterías a usar. Cabe resaltar que los 21 Ah son por cada motor, así pues, el sistema propulsivo consumirá un total de 42 Ah.

$$6,8A \times 0,75 \times 4 = 20,4Ah \approx 21Ah$$

Donde el 0,75 es el régimen de trabajo del motor y el 4 son las horas que se estiman de autonomía.

#### **5.5.4. DEFINICIÓN DE LOS ESPACIOS:**

En este apartado, se busca explicar la situación y localización de las distintas partes del dron y aquello que albergaran cada una de ellas. El proyecto de dron, viene definido por dos partes claramente diferenciadas, las cuales se explican a continuación:

- Flotadores:

En esta parte del dron se situaran elementos como el sistema propulsivo y alguna de las baterías del dron. Las principales funciones de esta parte es otorgar al dron de estabilidad y flotabilidad, por ello se diseñaran como principalmente huecas en su interior, albergando únicamente los elementos que se han descrito con anterioridad. Los flotadores se pretenden construir con algún material que, si bien deben tener una cierta resistencia y ligereza, se pueda desechar en el caso que el flotador resulte dañado o se hunda una parte de él. A parte de ello, en esta parte se pretende buscar un material que resulte lo más económico posible, puesto que aquello que se desea proteger está en la sonorización del dron. Área total de superficie: 0.96 m<sup>2</sup>.

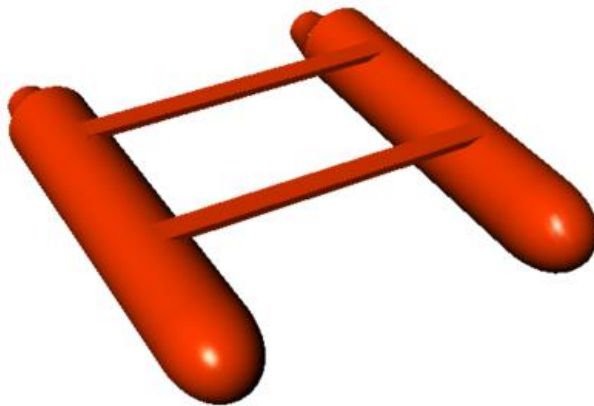


Figura 44: Renderizado de los flotadores (Fuente: elaboración propia)

- **Cuerpo Principal:**

Las principales funciones de esta parte del dron es la de albergar y proteger los sensores y todos los datos que se recojan a la hora de hacer el estudio y análisis medioambiental, sería como una especie de caja negra del dron, puesto que en caso de colisión, de falta de flotabilidad o hundimiento, esta capsula mediante el uso de una baliza de posición, nos permitiría recoger y recuperar tanto los drones como los sensores y así minimizar las perdidas por una colisión con un buque mayor. A parte de los sensores y elementos de comunicación con el operario, también tendrán cabida dentro del habitáculo, más baterías que subministraran energía a los elementos de sonorización y comunicación y a los motores. Por todo ello esta aparte se fabricará con materiales altamente resistentes y que aguanten extraordinariamente bien los golpes a parte de tener una gran ligereza. Debido a esto, esta es la parte del dron donde el precio del material puede subir más. Área total de superficie:  $0.33 \text{ m}^2$ .

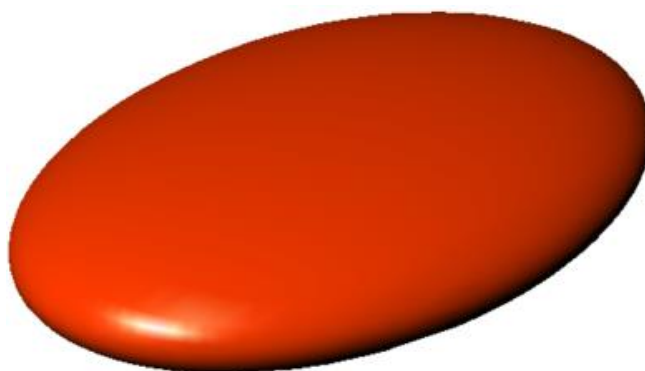


Figura 45: Renderizado del cuerpo principal (Fuente: elaboración propia)

## **6. BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE LOS MATERIALES ÓPTIMOS DE CONSTRUCCIÓN.**

En este capítulo se realizara la búsqueda y selección de los mejores materiales para la construcción del dron. Se empezara por elegir el mejor material para cada una de las dos partes del dron mediante el uso de la herramienta CES EduPack 2013 y posteriormente la elección del tipo de laminado que se hará en cada una de ellas. Para seguir se hará hincapié en remarcar los parámetros de fabricación como espesor o tipo de disposición que se precisa según la normativa elegida para acabar con la secuencia de laminado de cada parte y el peso total de ella una vez construida con su resina pertinente.

### **6.1. MATERIALES DE LAS PARTES DEL DRON:**

Se partirá de la base que todos los materiales de construcción serán fibras ya sean naturales o sintéticas. Por lo que se opta por una construcción con materiales compuestos.

#### **6.1.1. Flotadores:**

Como se ha comentado en el apartado anterior, se buscara un material que posea una cierta resistencia y ligereza y de un precio económico. Para ello procedemos a la búsqueda mediante el programa CES EduPack:

Una vez abierto el programa se seleccionará el tipo: Level 3 Eco Design, en el aparecerán materiales del estilo ecológicos o respetosos con el medio. Dentro de este tipo y del universo de materiales que en el aparecen se hará una primera filtración por el estilo Hybrids: composites, foams, honeycumbs, natural materials. Seleccionando solo composites, acotamos los materiales a 316. Para seguir en la búsqueda, se creará un gráfico en el que se relacione densidad con el módulo de Young:

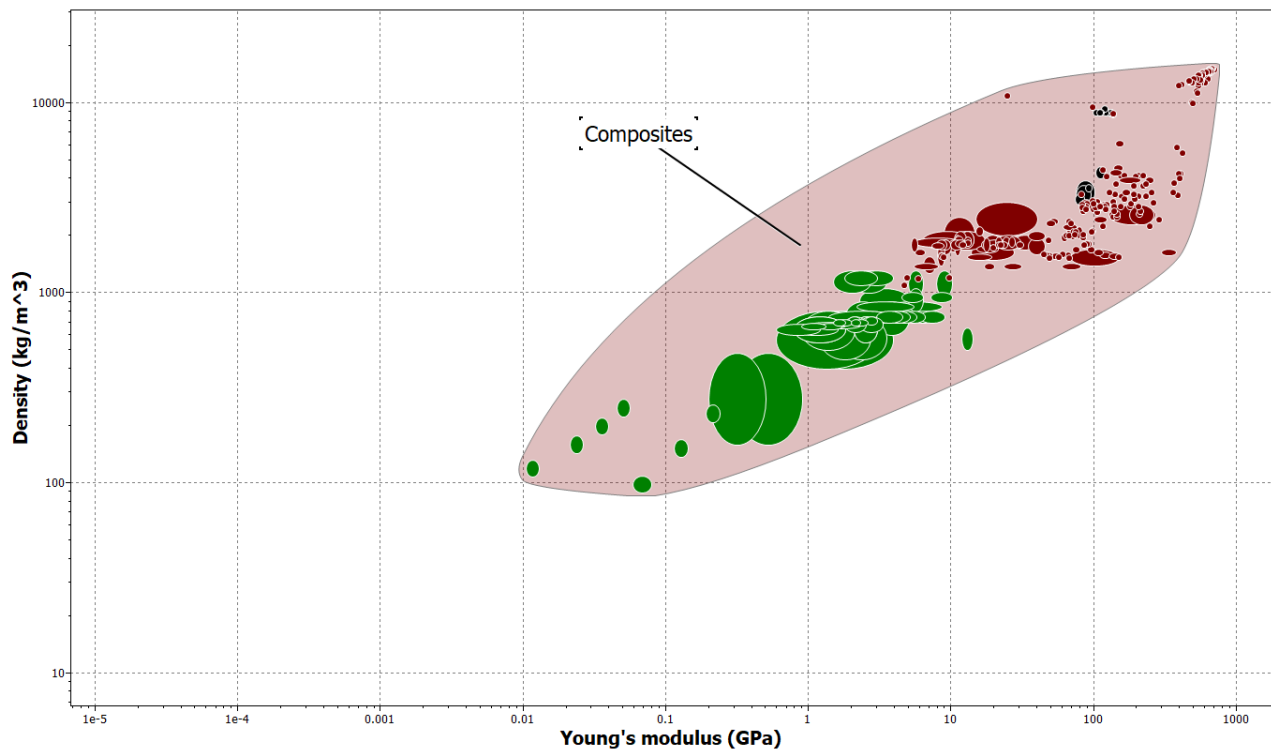


Figura 46: Gráfico Modulo de Young – Densidad (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar nos salen muchos tipos de materiales compuestos desde fibras naturales en color verde, hasta compuestos metálicos en color negro, a fin de acotar aún más las posibilidades del material, se introducirán algunas características como buena resistencia a los rayos UV, buen comportamiento medio salino, una densidad baja y un buen módulo de Young a la vez que tiene una buena flexibilidad.

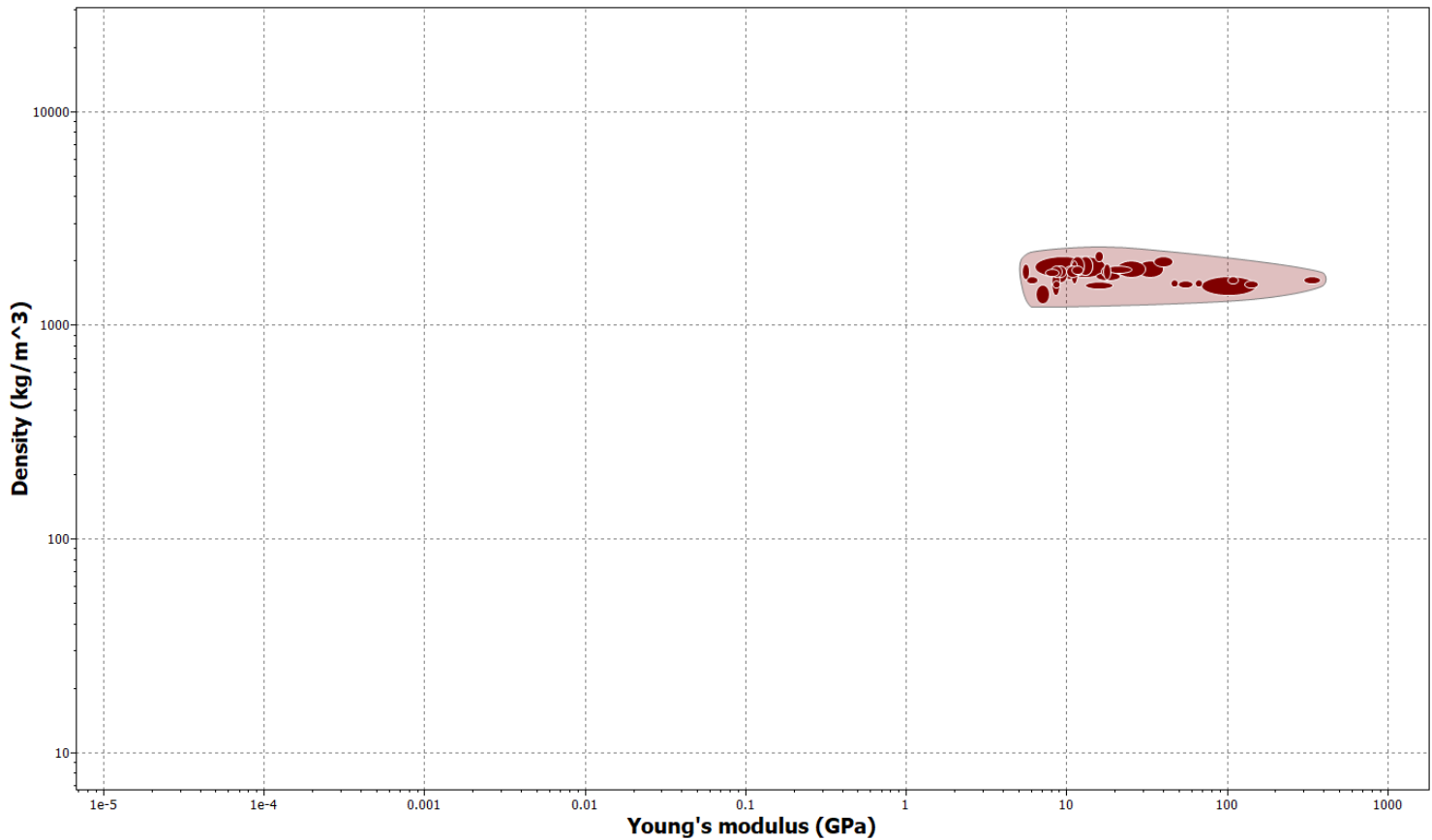


Figura 47: Gráfico Modulo de Young – Densidad con límites de excelente resistencia al agua salada y buena resistencia a los raios UV (Fuente: elaboración propia)

Como se puede apreciar en el gráfico, el grupo de materiales óptimos para la construcción de los flotadores atendiendo a las características de diseño se ha reducido considerablemente, pasando a un total de 34 materiales posibles. A fin de reducirlo aún más, se hará un gráfico con estos materiales y su precio para así tener una selección de 5 materiales finales entre los que se elegirá uno en concreto.

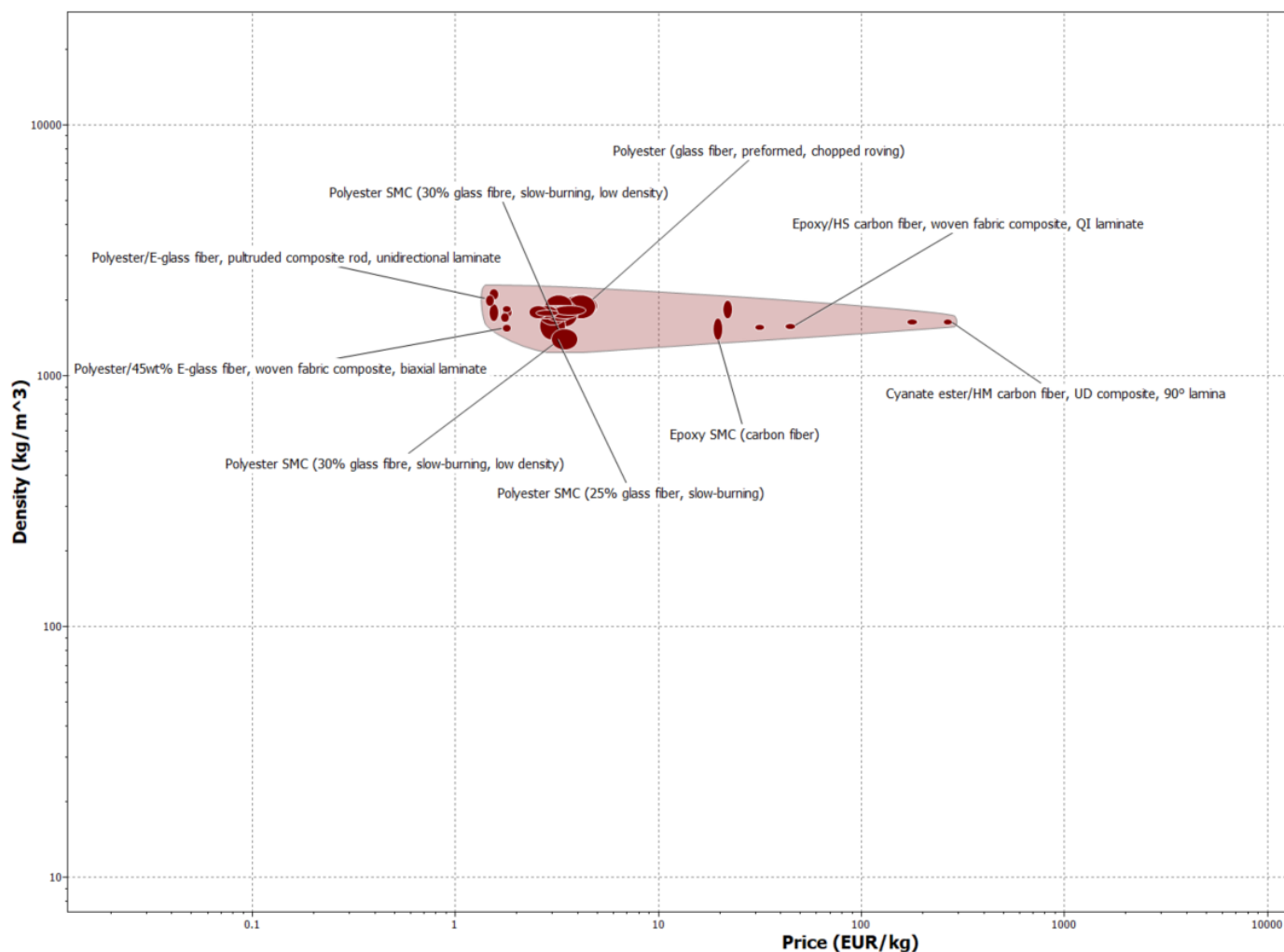


Figura 48: Gráfico Precio – Densidad (Fuente: elaboración propia)

Como se puede apreciar, se erigen como mejores opciones dos composites principales como son, la fibra de vidrio y la fibra de carbono, siendo la fibra de vidrio la más barata y la de carbono la más resistente y cara. En cuanto a la densidad, ambos compuestos tienen prácticamente la misma densidad.

Compuesto	Material	Composición	Densidad (Kg/m³)	Módulo de Young (GPa)	Precio (€/Kg)
E-fibra de vidrio/poliéster (wet resin proces)	Resina de poliéster Fibra de vidrio	Polyester 25% Glass fiber 75%	1900-2100	35-45	1,4-1,54
Polyester/45wt% E-glass fiber, woven fabric composite, biaxial laminate	Cross-linked copolymer of unsaturated polyester	Polymer 40% Glass (mat/fabric) 60%	1500-1600	13-19	1,69-1,87

Polyester SMC (30% glass fibre, slow-burning, low density)	Cross-linked copolymer of unsaturated polyester + glass fiber + mineral Fillers	Polymer 40% Glass fiber 30% Mineral 30%	1270-1540	6,36 - 7,7	2,97-3,96
Epoxy SMC (carbon fiber)	Epoxy + Carbon fiber	Polymer 50% Carbon fiber 50%	1400-1700	69-150	18,6-20,5
Cyanate ester/HM carbon fiber, UD composite, 90° lamina	Cyanate ester with carbon fiber reinforcement	Polymer 60% Carbon fiber 40%	1620-1670	5,6-6,5	252-278

Llegados a este punto, se hará una selección entre estos 5 materiales hasta seleccionar solamente uno. Se empezara por eliminar los compuestos de fibra de carbono pues, como se puede observar son las de precio más elevado y no es el rango de precios que buscamos para la parte de los flotadores. Para seguir entre las 3 fibras de vidrio que quedan se descarta la fibra de vidrio tipo: E-fibra de vidrio/poliéster (wet resin proces), puesto que posee una densidad elevada para el elemento que se quiere construir, pues como se ha comentado queremos que los flotadores proporcionen sobretodo flotabilidad. Por último se descarta la fibra de vidrio tipo Polyester SMC (30% glass fibre, slow-burning, low density), puesto que se desean unos flotadores ciertamente rígidos y sólidos, para que puedan hacer frente a colisiones o al oleaje que pueda haber siempre manteniendo una solidez. Por ello, y finalmente, se ha elegido el compuesto Polyester/45wt% E-glass fiber, woven fabric composite, biaxial laminate, este tiene una buena densidad que ayudará considerablemente a la flotabilidad del dron y un número de Young suficiente para aguantar posibles golpes o situaciones adversas.

Material seleccionado: Polyester/45wt% E-glass fiber, woven fabric composite, biaxial laminate.

### **6.1.2. Cuerpo principal**

Valiéndose de la misma gráfica y especificaciones que la elección de material de los flotadores, se procede a elegir el material óptimo para el cuerpo principal. Para la composición de esta parte se precisaban de unas características determinadas las cuales eran: materiales altamente resistentes y que aguanten extraordinariamente bien los golpes sumando el hecho de tener una gran ligereza. Todo ello combinado con la posibilidad de encontrar o escoger un material de más alto precio para así proteger los elementos que van en su interior. Para ello procedemos a la búsqueda mediante el programa CES EduPack, tal y como se ha hecho en el caso de los flotadores, misma metodología hasta obtener la gráfica siguiente:



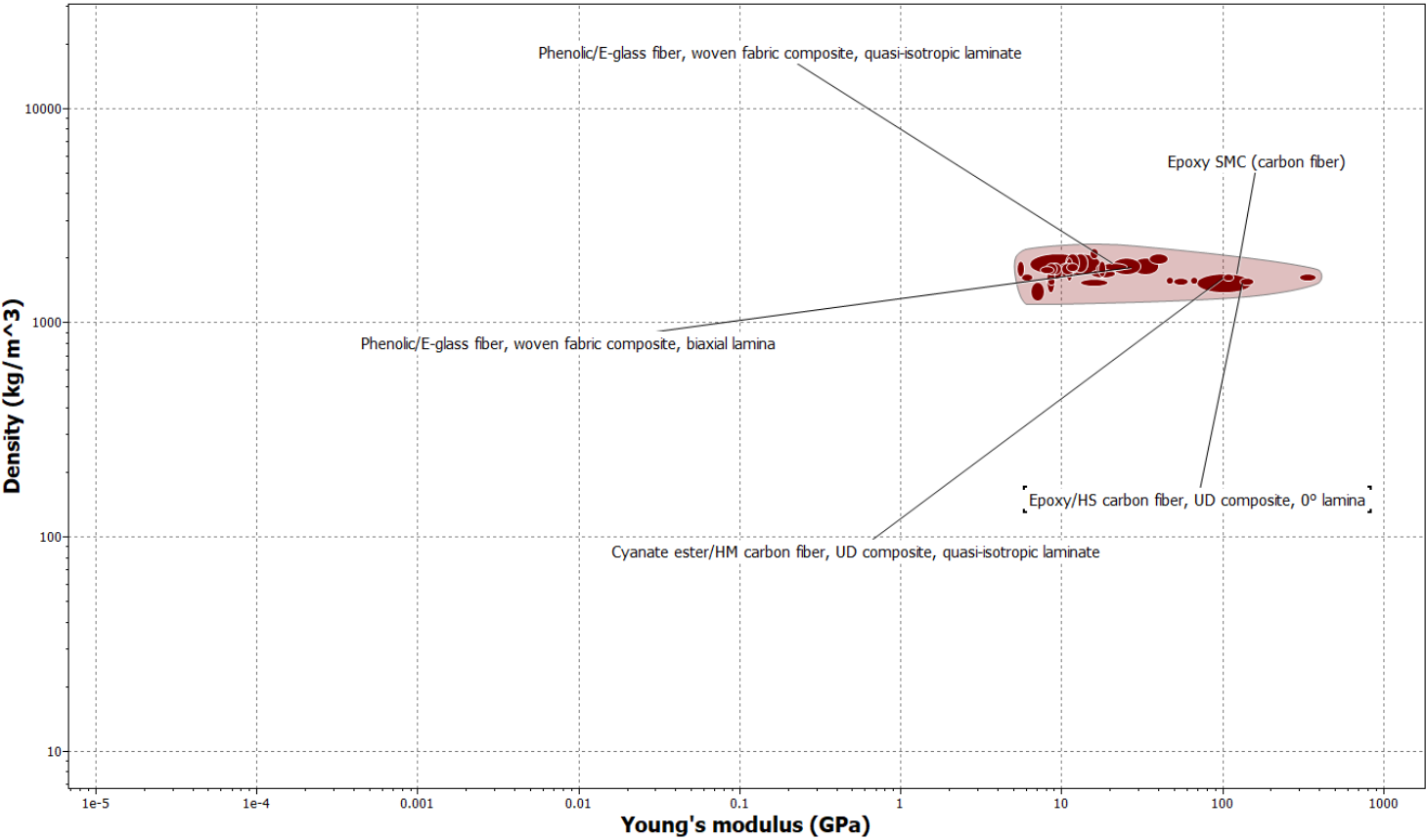


Figura 49: Gráfico Modulo de Young – Densidad, selección cuerpo principal (Fuente: elaboración propia)

Como se puede apreciar se han seleccionado materiales que tienen un alto módulo de Young y baja densidad, la mayoría de materiales compuestos que cumplen estas características son fibras de carbono. La selección es la siguiente:

Compuesto	Material	Composición	Densidad (Kg/m³)	Módulo de Young (GPa)	Precio (€/Kg)
Epoxy/HS carbon fiber, UD composite, 0° lamina	Epoxy + Carbon fiber reinforcement	Polymer 30% Carbon fiber 70%	1550-1580	129-154	29,8-33,1
Epoxy SMC (carbon fiber)	Epoxy + Carbon fiber	Polymer 50% Carbon fiber 50%	1400-1700	69-150	18,6-20,5

Cyanate ester/HM carbon fiber, UD composite, quasi-isotropic laminate	Cyanate with Carbon fiber reinforcement	Polymer 30% Carbon fiber 70%	1620-1670	101-115	167-187
Phenolic/E-glass fiber, woven fabric composite, biaxial lamina	Phenolic + E-glass fiber reinforcement	Polymer 40% Glass (mat/fabric) 60%	1700-2000	27,2-39,4	20,8-22,9
Phenolic/E-glass fiber, woven fabric composite, quasi-isotropic laminate	Phenolic + E-glass fiber reinforcement	Polymer 40% Glass (mat/fabric) 60%	1700-2000	20,4-30,6	20,8-22,9

Tras analizar los datos de los distintos materiales seleccionados se procede a la selección de estos, teniendo en cuenta las características comentadas al principio del apartado. Inicialmente se descartaran ambas fibras de vidrio pues si bien es cierto que su precio es bajo, se aprecia que por el mismo precio se tiene un compuesto con más módulo de Young, ello nos hace seleccionar como material de construcción la fibra de carbono. Se eliminará de la selección final el material Cyanate ester/HM carbon fiber, UD composite, quasi-isotropic laminate, puesto que es excesivamente caro para el módulo de Young que este tiene. Finalmente entre las dos fibras de carbono epoxy se selecciona Epoxy/HS carbon fiber, UD composite, 0° lamina, puesto que, si bien es cierto que es más costosa, esta tiene una densidad media menor que la Epoxy SMC (carbon fiber) y un módulo de Young mayor, propiedades que se presentan como óptimas para la construcción de esta parte.

Material seleccionado: Epoxy/HS carbon fiber, UD composite, 0° lamina.

## 6.2. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE LAMINACIÓN:

En el mundo de los materiales compuestos existen dos tipos de estructuras de laminación, en el caso de este proyecto, se usaran ambos tipos de estructuras. Por ello se procede a explicar ambas estructuras y cuáles son sus beneficios y características en cada caso:

- Estructura Monolítica: Este tipo de estructura consiste en apilar elementos muy delgados (tejidos y estructuras tipo MAT o fieltros), los espesores de estos elementos, van desde los 0.1 a los 1.5 mm. Por ello, identificamos a este tipo de láminas como el elemento básico de construcción. Entre ellas destacan:
- Fieltros: este tipo de estructuras textiles de fibras de refuerzo no poseen una orientación referente, tienen una distribución intercalada y heterogenea. La fibras que componen este tipo

de estructuras están ligadas entre sí por distintos tipos de ligantes, que dependerán del tipo de resina que usemos (epoxi, vinilester, poliéster, etc.).

Estas fibras pueden ser: continuas, hilvanados o fibras cortadas más pequeñas. Este tipo de estructura, llamado comercialmente MAT, no tienen una función plenamente estructural, puesto que no poseen características de resistencia o rigidez demasiado elevadas, sin embargo, son muy importantes para mejorar la adherencia de las capas de laminado sucesivas.

Una de los fieltros más importantes es el velo de superficie, este tipo de fieltro de bajo gramaje ( $30-80 \text{ gr/m}^2$ ) se coloca en contacto con el getcoat exterior (capa de resina que están contacto con el medio atmosférico y con el marino y que protege al laminado de abrasiones o de las inclemencias de los distintos medios) durante el proceso de laminación. Este otorga resistencia a la película de Gelcoat y como barrera química frente el exterior.

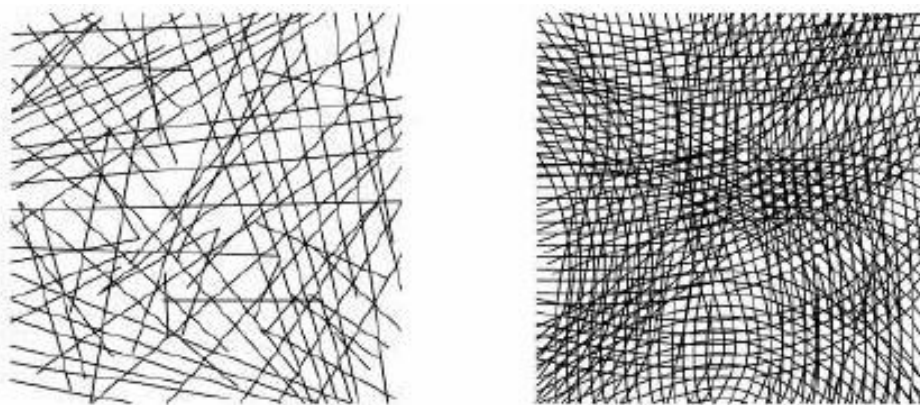


Figura 50: tipos de estructuras MAT (Fuente: Asignatura: Materiales compuestos. Procesos de fabricación. BESENDJAK A. Ed. UPC; Barcelona 2005)

- Sistemas no mallados: Dentro de este tipo de tejidos encontramos distintas estructuras en función de su construcción: tejidos, ensamblados y trenzados. Dentro de este tipo de estructuras, destacan los tejidos, estos son estructuras textiles que durante su fabricación, se van cruzando entre si diferentes fibras, como si de una tela se tratara, existen dos fibras que se intersecan perpendicularmente, la trama y la urdimbre.

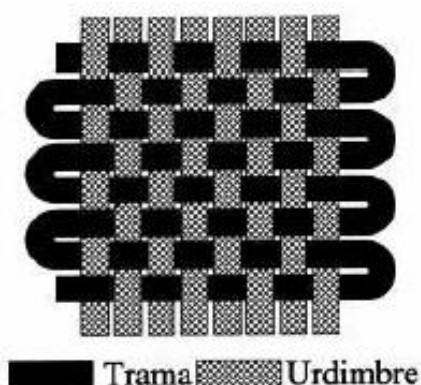


Figura 51: Estructura textil (Fuente: Asignatura: Materiales compuestos. Procesos de fabricación. BESENDJAK A. Ed. UPC; Barcelona 2005)

Después de esta explicación, se puede apreciar que los elementos que compondrán este tipo de estructura son tejidos, MAT, resina y gelcoat. Estas estructuras son más ligeras y delgadas que las estructuras tipo sándwich. En el caso del dron, se usará esta disposición en la parte del cuerpo principal, con el uso de MAT y tejidos de fibra de carbono y resina epoxi.

- Estructuras Sándwich: una estructura de este tipo está formada por dos pieles de tejidos y MAT entre la cuales se encuentra un material ligero y de baja densidad el cual se conoce como núcleo. La clave de esta estructura, es el aumento de espesor de la estructura combinado con un mínimo peso, lo cual aporta al sistema una rigidez superior.


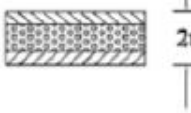
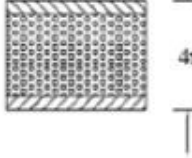
	Construcción monolítica	Construcción sandwich	Construcción sandwich
			
Rigidez relativa	100	700	3700
Resistencia relativa	100	350	925
Peso relativo	100	103	106

Figura 52: Comparación estructura monolítica – estructura sándwich (Fuente: Asignatura: Materiales compuestos. Procesos de fabricación. BESENDJAK A. Ed. UPC; Barcelona 2005)

Este tipo de estructuras consta de tres partes: piel exterior (elementos resistentes), adhesivo (une el conjunto del sistema) y finalmente, el núcleo (mantiene separadas las dos pieles externas y como aislamiento térmico y transmitir los esfuerzos cortantes de una cara a la opuesta.).

El núcleo de este tipo de estructuras puede ser desde PVC, espumas o materiales orgánicos como el corcho o madera.

Este tipo de estructura se usara en la construcción de los flotadores. Estos se construirán en una estructura tipo sándwich dónde las pieles exteriores serán de fibra de vidrio y el material del núcleo será de origen orgánico y natural, estará compuesto de corcho.

### **6.3. NORMATIVA DE LAMINACIÓN:**

Para el caso de la construcción de embarcaciones en materiales compuestos, la normativa elegida de Lloyd's establece los espesores y las densidades mínimas que deben tener las distintas partes de la embarcación. Así pues, no serán necesarias las mismas propiedades para los flotadores que para el cuerpo principal. Por ello se estudiarán y se harán los cálculos necesarios por separado.

Como se ha comentado previamente la normativa que se usará será la de Lloyd's Register, Rules and regulations for the classification of special service Craft, normativa del julio del 2019. En dicha normativa encontramos las normas de construcción en distintos materiales que van desde el acero al aluminio hasta llegar a los materiales compuestos en su Parte 8, Hull construction in composite. Dentro de esta parte 8, en su capítulo 4, Scantling determination for Multi-hull Craft, en este capítulo, se nos muestra cómo hacer el escantillado de las distintas partes de un barco multicasco, tanto de los flotadores como del cuerpo principal. Dentro de este capítulo también se hace una explicación separada y un cálculo separado dependiendo del tipo de estructura de laminación que queramos, monolítico o en estructura sándwich. Finalmente es en la sección 2 de este capítulo 4 en la cual se pueden consultar según normativa los espesores mínimos requeridos en cada parte de nuestra embarcación dependiendo del método de construcción.

Es importante destacar que los espesores o la normativa en su conjunto, está pensada para embarcaciones superiores en calado, eslora y demás especificaciones básicas, por lo que estas se aplicarán al dron.

### **6.4. SECUENCIAS DE LAMINADO Y PESOS FINALES:**

#### **6.4.1. SECUENCIA DE LAMINADO DE LOS FLOTADORES**

Esta sección de la embarcación se construirá en una estructura tipo sándwich, para ello se debe mirar en la normativa la Pt8, Ch4, sección 2, Minimum thickness requirements.

Para la construcción del casco para la construcción del tipo sándwich y mediante los requerimientos de la normativa, se establece un espesor mínimo de 9,5 mm. Así pues la secuencia de laminado se construye de la siguiente forma:

Materiales a usar:

- Mat 300 g/m<sup>2</sup>.
- Rovin 500 g/m<sup>2</sup>.
- Núcleo: corcho 140 Kg/cm<sup>3</sup>.
- Velo de superficie: 50 g/m<sup>2</sup>.

Tejido/Fieltro	Densidad/volumen	Totales	Espesor (m)
Gel coat	1222 Kg/m <sup>3</sup>		0,0003
Velo de superficie	50 g/m <sup>2</sup>	1150 g/m <sup>2</sup>	0,00035
Mat 300	300 g/m <sup>2</sup>		0,00075
Rovin 500	500 g/m <sup>2</sup>		0,0006
Mat 300	300 g/m <sup>2</sup>		0,00075
Corcho	140 Kg/m <sup>3</sup>		0,005
Mat 300	300 g/m <sup>2</sup>	1600g/m <sup>2</sup>	0,00075
Rovin 500	500 g/m <sup>2</sup>		0,0006
Mat 300	300 g/m <sup>2</sup>		0,00075
Rovin 500	500 g/m <sup>2</sup>		0,0006
			0,00965

Tabla 5: Secuencia de laminación flotadores (Fuente: elaboración propia)

Como se puede ver en la secuencia de la laminación anterior, el espesor de la secuencia en seco es de 9,65 mm en cuanto a suma de telas y el núcleo se refiere. Debido al tipo de método de producción que se empleará, laminación de tipo manual, este método deja un desperdicio de resina más grande lo que se traduce en un espesor más grueso que otros métodos de producción como el vacío o los pre-impregnados. La resina usada para esa parte del dron, es resina de poliéster insaturada, y el resultado de este compuesto es un porcentaje del 60% de fibra por unidad de peso, debido a entre otras cosas el método de laminación manual. El área total de esta sección a cubrir es de 0,96 m<sup>2</sup>, calculada mediante programa de diseño Rhinoceros. Todo lo que se refiere al método que se debe usar y como se debe usar esta descrito en el programa CESedupack 2013, en el también aparecen los porcentajes de fibra finales por unidad de peso.

#### 6.4.2. SECUENCIA DE LAMINADO DEL CUERPO PRINCIPAL

Para el caso del cuerpo principal, se seguirá una construcción tipo monolítico o laminar. Para el cumplimiento de la normativa, se debe seguir la norma situada en Pt 8, Ch4, sección 2, punto 1.1, esta a su vez depende de la situada en la Pt 8, Ch3, sección 1, punto 1.13. Mediante estas dos reglas y los cálculos que en ellas aparecen, se obtiene que el espesor necesario para la construcción de la pieza sea de 5,44 mm.

Materiales a usar, todos en fibra de carbono:

- Mat 100 g/m<sup>2</sup>.
- Rovin 198 g/m<sup>2</sup>.
- Velo de superficie: 49 g/m<sup>2</sup>.

Tejido/Fieltro	Densidad/volumen	Totales	Espesor (m)
Gel coat	1140 Kg/m <sup>3</sup>		0,0006
Velo de superficie	49 g/m <sup>2</sup>	943 g/m <sup>2</sup>	0,00065
Mat	100 g/m <sup>2</sup>		0,00191
Rovin	198 g/m <sup>2</sup>		0,00025
Mat	100 g/m <sup>2</sup>		0,00191
Rovin	198 g/m <sup>2</sup>		0,00025
Mat	100 g/m <sup>2</sup>		0,00191
Rovin	198 g/m <sup>2</sup>		0,00025
			0,00718

Tabla 6: Secuencia de laminación cuerpo principal (Fuente: elaboración propia)

Para la sección del cuerpo principal, el espesor final es de 0,72 cm, este valor se refiere a la suma de las telas y de los fieltros en seco. El método de producción para esta parte del dron es el de laminado mediante un modelado en autoclave a una temperatura de 115 - 180 °C y una presión de 6 - 7 bar. Este método permite la máxima impregnación de las telas y de todo el conjunto del material compuesto así como un espesor muy ajustado al teórico, circunstancia que no pasaría en métodos como el laminado manual. La resina que se usará para la fabricación de esta pieza es resina epoxy, la cual otorga muy buenas propiedades en combinación con la fibra de carbono. El porcentaje resultante de fibra por unidad de peso es más elevado que el laminado manual, llegando a ser de un 60 - 70 % de fibra por unidad de peso. El área que se pretende cubrir con este tipo de laminado y estos materiales es de 0,33 m<sup>2</sup>, calculada también como en el caso de los flotadores con la herramienta Rhinoceros. En cuanto al método de uso para la laminación de este compuesto, su metodología y las propiedades del mismo, se pueden encontrar a su vez, en el programa CESedupack 2013.

## 7. CALCULO DE PESOS DE LA EMBARCACIÓN.

En este capítulo del proyecto se realizarán y se expondrán los cálculos de los distintos pesos que tiene el dron, estos van desde la propia estructura hasta los sistemas de análisis del dron.

### ESTRUCTURA:

El peso del laminado en mojado se ha obtenido a partir de la densidad total del laminado en mojado, que se sabe a partir del programa de elección de materiales CESedupack 2013, teniendo eso y en combinación de los espesores y las dimensiones del área a cubrir, se obtendrá el peso de la estructura total del dron. Finalmente se aplicará un pequeño sobredimensionamiento, a medida de seguridad.

Zona	Peso fibra seca (Kg/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Espesor (m)	Porcentaje de fibra-resina (%)	Peso Laminado Mojado (Kg)
Flotadores	3,817	0,96	0,00965	60	6,1
Cuerpo principal	1,627	0,33	0,00718	70	0,772
TOTAL:					7,2

Tabla 7: Pesos de las partes de la estructura (Fuente: elaboración propia)

### SISTEMA PROPULSIVO:

Para el cálculo del sistema propulsivo del Dron se tendrán en cuenta los pesos del sistema waterjet, el motor y finalmente el conjunto de baterías que se dispondrán en los flotadores para el suministro de energía al propio sistema. Para ello se usará una combinación de baterías dos de 20Ah y una de 1Ah, ello proporcionará la energía necesaria a dicho sistema de propulsión.

Elemento	Nombre	Peso (Kg)	Cantidad	Peso total (Kg)
Waterjet	TFL Jet Thruster CNC Aluminio / Fibra de carbono - Sin motor	0,907	2	1,814
Motor	MABUCHI 540- 6527 Brushed Motor 65W	0,160	2	0,320



Batería	Turnigy High Capacity 20000mAh 4S 12C Lipo Pack w/XT90	1,775	2	3,550
	Turnigy Nano-Tech Plus 1000mAh 4S 70C Lipo Pack w/XT60	0,125	2	0,250
TOTAL:				6

Tabla 8: Pesos del sistema propulsivo (Fuente: elaboración propia)

#### SISTEMA DE SENSORES:

Dentro de este sistema encontramos tres grupos diferenciados a parte de la batería que suministra la energía necesaria para el funcionamiento de todos los componentes. Los tres grupos son, el primero en el cual se encuentran elementos como el sistema de control remoto del dron, la radiobaliza y GPS, la cual ayudara a la localización del dron en caso de daños o hundimiento y por último la placa en la cual se conectaran todos los dispositivos electrónicos y de sonorización del dron. En el segundo grupo encontramos todos sensores dedicados a la sonorización de la calidad del aire y el control medioambiental. Y por último los sensores destinados al control y el muestreo del agua marina.

Elemento	Peso (g)	Corriente de uso (mA)
Radiobaliza	23	Sistema con batería propia
Placa arduino	8,9	40
Remote control unit	1,9	30

Tabla 9: Características de los elementos electrónicos (Fuente: elaboración propia)

Nombre	Medición	Peso (g)	Corriente (mA)
BME 680	Temperatura	5	12
	Humedad		
	Presión		
Sharp GP2Y1010AU0F + Sensor de agentes electroquímico	CO <sub>2</sub> , Oxígeno, Monodioxido de carbono	30	20

Water Tech <sup>2</sup> C4E	Salinidad	350	30
Sonda digital DHP 485	Hidrocarburos	253	15
Oxy Tech <sup>2</sup> GA2	Oxigeno	500	50
Sensor pH + sonda pH	pH	150	10
Seapoint chlorophyll Fluorometer (SCF)	Clorofila	850	27
SENO 189	Turbidez	30	40

TOTALES

2200	274
------	-----

Tabla 10: Características de los elementos de sensorización (Fuente: elaboración propia)

Tras ver todos los sensores que se quieren montar, en el dron y su amperaje de uso, se procede a calcular la batería necesaria para que todo este grupo de sensores pueda funcionar durante una autonomía máxima de 4 horas.

$$274 \text{ mA} \times 4 = 1096 \text{ mAh} \approx 1200 \text{ mAh}$$

Una vez ya se saben los amperios hora que se precisan y la capacidad de la batería, se elige la siguiente batería para el cuerpo principal, la cual irá en el interior de este.

Elemento	Nombre	Preso (g)	Capacidad (Ah)
Batería	Turnigy 1300 mAh 2S Lipo 20C	81	1,3

Tabla 11: Resumen de las baterías (Fuente: elaboración propia)

#### RESULTADOS FINALES:

En la siguiente tabla se puede ver un resumen de todos los pesos del dron y su peso final. A su vez, este peso nos servirá para hacer la evaluación de estabilidad y flotabilidad.

SISTEMA	PESO (Kg)
Estructura	7,2
Sistema Propulsivo	6
Sistema de sensores	2,2
TOTAL	15,4

Tabla 12: Resumen de pesos del dron (Fuente: elaboración propia)

## 8. EVALUACION HIDROESTATICA.

Si bien es cierto que el principal objetivo de este trabajo es el diseño y la elección de los materiales, tarea realizada en los apartados anteriores, en este capítulo y en el siguiente se hará un breve estudio de la hidrostática, la estabilidad y la flotabilidad. Las dos condiciones que pueden presagiar un buen comportamiento en estático son las siguientes:

1. El desplazamiento total de la embarcación, ha de ser igual o inferior al desplazamiento de diseño del casco.
2. El centro de gravedad del dron ha de estar lo más próximo posible al centro de flotación.

Para el cálculo y evaluación de todas estas características se realizara en condiciones de desplazamiento en rosca, lo cual quiere decir el peso de la estructura, más el peso de toda la maquinaria que el dron pueda llevar para su operación. Dado que el cálculo de todas las variables que necesitamos es tedioso si se hace a mano, mediante el programa Maxsurf Stability, se pueden poner los pesos que el dron ha de soportar así como su desplazamiento, el centro de flotación o la eslora en la línea de agua. Gracias a este programa se pueden obtener las mediciones necesarias para corroborar la viabilidad del proyecto.

Una vez introducidos en el programa los resultados a los cuales se ha llegado en el diseño, se obtiene la siguiente tabla:

Desplazamiento (t)	0,0154
Calado en el centro del buque (m)	0,144
Calado en FP (m)	0,144
Calado en AP (m)	0,144
Calado en LCF (m)	0,144
Eslora en la línea de Flotación (m)	0,394
Manga máxima en WL (m)	0,275
Área mojada (m <sup>2</sup> )	0,581
Área de flotación (m <sup>2</sup> )	0,085
Coeficiente prismático (Cp)	1,419
Coeficiente de bloque (Cb)	0,964
Coeficiente de Máxima Sección de Área. (Cm)	0,679
Coeficiente de flotación. (Cwp)	0,784

LCB desde zero pt. (+ve fwd) (m)	0,269
LCF desde zero pt. (+ve fwd) (m)	0,260
Centro de gravedad desde zero pt. (+ve fwd) (m)	0,197
Distancia entre LCF y LCG (m)	0,063
KB (m)	0,065
KG (m)	0,110
BMt (m)	0,027
BML (m)	0,054
GMt (m)	-0,018
GML (m)	0,008
KMt (m)	0,092
KML (m)	0,118
Immersion (TPc) (toneladas/cm)	0,001

Tabla 13: Resultados hidrostáticos en desplazamiento en rosca (Fuente: elaboración propia)

Los resultados del análisis hidrostático en condición de desplazamiento en rosca son buenos y favorables a nuestros intereses. En lo que se refiere al primer punto anteriormente nombrado, vemos que el desplazamiento total de la embarcación vemos que el desplazamiento es el esperado y por ello el deseado. Por otro lado, el segundo punto dicho, la distancia que se tiene entre el centro de gravedad y el centro de flotación es de 6 cm.

## 9. EVALUACION DE ESTABILIDAD Y FLOTABILIDAD.

En este capítulo se analizarán las condiciones de flotabilidad y estabilidad del dron, para realizar esto se seguirán los requisitos descritos en la normativa UNE-EN ISO 12217-3:2017 – *Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 3: Embarcaciones de eslora inferior a 6 metros*. Esta normativa es de diciembre 2017 y ha estado elaborada por el comité técnico CTN 27 Industria de construcción y reparación naval, artefactos y tecnología marina.

Previamente al estudio y al análisis según la normativa, se debe remarcar que, tal y como ya se han comentado previamente algunas veces, las normativas y legislaciones a aplicar a los drones o a embarcaciones de menos de 2,5 metros son escasas y la mayoría de normativas no las tienen en cuenta o simplemente no están ni amparadas por las mismas, lo cual se traduce en un vacío legal para estas embarcaciones de nueva generación.

Dentro de esta normativa nos centraremos en el capítulo 6: Ensayos a aplicar a las embarcaciones no propulsadas a vela. En él nos encontramos con la siguiente tabla (tabla 12), en la cual aparecen los ensayos a realizar dependiendo de las especificaciones de la embarcación.

Previamente al estudio y a seguir los pasos que en la tabla se describen, se debe describir las características del dron para saber qué tipo de embarcación es según la normativa y que normativa y ensayos aplicar. Por lo que se refiere a nuestro dron, debemos especificar que la categoría de diseño de nuestro dron es D. La eslora de flotación es menor a los 6 metros y la cubierta de la embarcación es completamente cerrada, esta última especificación, viene definida en el apartado 3.1.5 de la misma normativa UNE-EN ISO 12217-3:2017. Estas especificaciones que se acaban de describir son importantes puesto que en algún momento del estudio de este capítulo se tendrán que usar.

Opción	1ª	2	3ª	4	5	6ª
Aplicable a	$L_H < 6,0 \text{ m}$			$L_H \geq 4,8 \text{ m y } L_H < 6,0 \text{ m}$		
Categorías de diseño posibles	C y D	C y D	D	C y D	D	C y D
Aplicable a motores de una potencia de	Cualquiera	Cualquiera	$\leq 3 \text{ kW}$	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
Aplicable a los siguientes tipos de instalación de motores	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Motores intraborda solamente
Cubierta o protecciones	Todas las embarcaciones excepto "completamente cerradas" <sup>b</sup>	Completamente cerradas <sup>c</sup>	Todas las embarcaciones excepto "completamente cerradas" <sup>b</sup>	Parcialmente cerradas <sup>d</sup>	Todas las embarcaciones excepto "completamente cerradas" <sup>b</sup>	Todas las embarcaciones excepto "completamente cerradas" <sup>b</sup>

Ensayo de altura de inundación	6.3 <sup>e</sup>	6.3	-	6.3	6.3	6.3
Tamaño de los nichos	-	6.4 <sup>f</sup>	-	-	-	-
Ensayo de compensación de cargas	6.5	6.5	-	6.5	6.5	6.5
Escora debida a la acción del viento	6.6 <sup>g</sup>	6.6 <sup>g</sup>	6.6 <sup>g</sup>	6.6 <sup>g</sup>	6.6 <sup>g</sup>	6.6 <sup>g</sup>
Tipo de flotabilidad	Horizontal	-	Véase 6.9	-	-	De base
Ensayo de flotabilidad	6.7	-	Véase 6.9	-	-	6.8
Materiales de flotación	Anexo D	-	Anexo D	-	-	Anexo D
Ensayo de recuperación después del vuelco	-	-	6.9	-	-	-
Detección y achique del agua	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10	6.10
<p>a Se considera que las embarcaciones que utilicen las opciones 1, 3 y 6 son susceptibles de llenarse de agua cuando se utilicen en su categoría de proyecto.</p> <p>b Es decir, toda embarcación que no esté "completamente cerrada", esto incluye las embarcaciones sin ningún tipo de cubierta.</p> <p>c Este término se define en el apartado 3.1.5. Las embarcaciones que utilicen la opción 2 se pueden evaluar alternativamente utilizando la Norma ISO 12217-1.</p> <p>d Este término se define en el apartado 3.1.6.</p> <p>e No se requiere el ensayo de altura de inundación para ciertas embarcaciones. Véase el apartado 6.3.2.1.</p> <p>f Estos requisitos sólo se aplican a la categoría de diseño C.</p> <p>g Sólo se requiere la aplicación del apartado 6.6 en las embarcaciones en las que <math>A_{LV} \geq 0,5 L_H B_H</math> en la condición utilizada para el ensayo de compensación de carga.</p>						

Tabla 14: Ensayos a aplicar a las embarcaciones no propulsadas a vela (Fuente: AENOR UNE-EN ISO)

Así pues viendo las especificaciones anteriormente comentadas, se elegirá como ensayos a aplicar a las embarcaciones la opción 2. Esta opción nos exige cumplir con los ensayos de altura de inundación, explicado en el apartado 6.3 y el ensayo de compensación de cargas explicado en el apartado 6.5 los ensayos de tamaño de los nichos y escora debida a la acción del viento no se deberán hacer puesto que el dron no entra dentro de las características mínimas para llevarlos a cabo, estas características son las siguientes, para tener que hacer el ensayo de tamaño de los nichos, la embarcación tendría que ser de categoría de diseño C y el dron es de categoría D. Por otro lado para tener que hacer el ensayo de escora debida a la acción del viento no será necesaria llevarla a cabo puesto que tal y como se dice en la especificación g de la parte de debajo de la tabla, no es necesaria la aplicación de este ensayo si se cumple la siguiente formula:

$$A_{LV} < 0,5 \times L_H \times B_H$$

$$0.33 < 0.05$$

Dónde:

- $A_{LV}$ : Área en contacto con el viento.
- $L_H$ : Eslora de flotación.
- $B_H$ : Manga de flotación.

Como se puede ver cumple con la normativa para que no se tenga que llevar a cabo el ensayo. Tanto la eslora como la manga de flotación vienen especificadas en la norma ISO 8666.

Analizando el apartado 6.3 en el cual se nos detalla el ensayo de inundación, podemos leer en el subapartado 6.3.2.1 Ensayos que si la embarcación no embarca agua cuando se escora hasta 90º desde la posición de adrizado estando en condición de peso en rosca, como es el caso, no será necesario realizar el ensayo de altura de inundación. Dado que el dron es estanco en todos sus espacios y que estos están cerrados, no hay posibilidad que en el entre el agua, formando así en el interior de los espacios, tanto los flotadores como el cuerpo principal una bolsa de aire, que nos da una reserva de flotabilidad en caso de volcar.

Finalmente en el apartado 6.5, Ensayo de compensación de carga, se nos dice que este ensayo sirve para comprobar que una embarcación no inundada tiene la suficiente estabilidad ante un movimiento de cargas realizado por la tripulación. Tal y como se especifica, este ensayo se hace para ver el comportamiento de una embarcación ante un movimiento d cargas, así pues, se considera un ensayo que no tendría funcionalidad alguna en el dron pues todas las cargas que pueda llevar y que llevara el dron están fijadas e inmóviles, por lo tanto la estabilidad no se verá afectada por dichos movimientos, cosa que es el principal factor en dicho ensayo.

Así pues y pese a tener algunos problemas a la hora de aplicar la normativa o de buscarla debido a las características del dron, se puede constatar que el dron tiene unas condiciones de estabilidad y de flotabilidad suficientes como para llevar a cabo sus funciones de diseño en el ámbito de puerto.

## **10. ANÁLISIS DEL DISEÑO FINAL Y DE SU VIABILIDAD DE CONSTRUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN.**

En este capítulo final, en él se hará una valoración del dron en tanto en cuanto al ámbito económico se refiere, tanto de fabricación y construcción como de comercialización. Previamente a esto se procederá a hacer un análisis del diseño y de los materiales encontrados para la fabricación del mismo.

En lo concerniente al diseño, parece acertada la elección de un casco en forma de catamarán con los flotadores y la estructura de cuerpo principal, puesto que este diseño aporta estabilidad y flotabilidad al dron. En lo que a materiales de construcción se refiere, la elección de hacer dos partes diferenciadas con distintos materiales dependiendo de sus características es necesaria puesto que no se necesita la misma resistencia en los flotadores que en el cuerpo principal, ya que en el cuerpo principal están los sensores y los datos obtenidos, los cuales nos interesa proteger y posteriormente en caso de colisión, recuperar.

En cuanto al aspecto económico del dron, el coste total del dron calculando materiales, sensorización, sistema propulsivo, mermas y el tiempo de fabricación es de un total de unos 2100€. El precio de la construcción del dron no es excesivamente alto o inalcanzable, lo cual implica que se podría pensar que comercializar con él o encontrarle un espacio en el mercado no debería ser de excesiva complejidad. A todo ello debemos sumarle que como ya se ha comentado alguna vez los drones marinos de superficie, a diferencia de los aéreos, es un mundo relativamente nuevo en lo que a drones para uso civil o para uso medioambiental. Por ello la mayoría de drones que se dedican al control de aguas, no suelen ser tan completos como el de este proyecto, puesto que no analizan más de dos características del agua a la vez, siendo el uso más frecuente para estos drones las batimetrías del fondo marino. Por ello se podría decir que el dron tendría una gran aceptación no solo por el gran abanico de sensores para el control de aguas sino también porque ofrece un control medioambiental también. Un factor importante que ha hecho que el precio se reduzca es el uso de la placa y el sistema Arduino, este sistema permite programar sensores y obtener datos de ellos de forma fácil y rápida aparte de ser una opción económica que acerca este tipo de tecnología a la sociedad.

Como se ha podido ver durante el trabajo, existen drones similares al proyectado en este trabajo, cómo el SONObot de EVOlogics, estos son similares en forma, sin embargo las funciones estos son para uso batimétrico general y mayoritariamente. Consultando algunos proveedores de estos dispositivos de uso no militar o de seguridad, se puede observar que el rango de precios del alquiler de estos, van desde los 3000 hasta los 10000 € siempre dependiendo de factores como, el lugar de inspección, el área a monitorizar, las pruebas o análisis que se quieran hacer o el dron que se requiera para llevar a cabo el trabajo, por ello se ve con buenos ojos la comercialización de este dron planteado.



## 11. CONCLUSIONES.

Tras la realización del proyecto y el análisis del mismo, se puede concluir que se han llegado a unos resultados aceptables, en cuanto a diseño y elección de materiales se refiere, ello ha hecho que se pusieran en práctica métodos y técnicas estudiadas durante todo el grado. El objetivo principal era la elección de los materiales que se adaptaban mejor a las necesidades que este presentaba para este tipo de embarcaciones. Si bien es cierto que son necesarias para la elección de estos materiales operaciones como el dimensionamiento o la elección de las formas del dron, se pretendía hacer un proyecto con finalidades constructivas, es decir, en este proyecto no se buscaba llegar al centro de la espiral de diseño, sino dar una primera vuelta a ella.

Previamente a las conclusiones sobre el diseño y la elección de los materiales, se debe remarcar otros aspectos sumamente importantes y que han tenido una especial relevancia en el devenir de este proyecto. Empezando por la parte histórica donde se puede apreciar que la mayoría de los usos que se les ha dado o se les da a los drones marítimos son militares, o por parte de ejércitos o organizaciones estatales de vigilancia, ello desemboca en el segundo punto a comentar, si bien es cierto que en las últimas décadas esta tendencia de uso se ha visto cambiada hacia la exploración medioambiental a los mares y océanos y al descubrimiento de estos, se aprecia cómo debido a ese pasado bélico, todo en cuanto se refiere a normativa de construcción o de fabricación, incluso los sistemas que estos pueden llevar o los lugares por donde pueden operar, son confidenciales o, a diferencia de los drones aéreos, no está normalizado o legislado, por lo que estos tipos de embarcaciones carecen de una normativa propia, existiendo un vacío legal, que si bien es cierto que los países se están interesando por solventar, a día de hoy de hace sumamente complicado encontrar una normativa para estos drones y para la construcción de los mismos, teniendo así que usar normativas pensadas para barcos mayores y con fines diferentes a los que pudiera tener el dron. En cuanto al aspecto económico del trabajo, este sector del dron marino, debido a ese vacío legal en cuanto a normativa sumado a un sector muy nuevo y con mucho margen de mejora e investigación y desarrollo, hace que sea un sector en el cual sea una buena opción la inversión, puesto que el control medioambiental cada vez se hará de mayor vitalidad, si se quiere tener un control sobre el cambio climático.

En cuanto al aspecto más ingenieril, el de la elección de los materiales y las formas del dron, se puede constatar que la estructura tipo catamarán es la opción ideal para el trabajo de drones en aguas poco profundas por su bajo calado, a más a más de la estabilidad que este tipo de estructura ofrece. Por lo que se refiere a la elección del material, queda constatado que, los materiales de tipo composites o materiales compuestos como la fibra de vidrio o la fibra de carbono, elegidos para la construcción del dron, siguen siendo una de las opciones más baratas y que mejores propiedades ofrecen a la hora de construir embarcaciones. Prueba de ello reside en que el sector naval es pionero y posee una larga tradición en la construcción y uso de este tipo de materiales. Estos ofrecen gran resistencia y durabilidad en un medio tan duro como es el marino en el que se debe hacer frente a elementos como la salinidad, los contaminantes en el mar, las fuerzas como el oleaje o incluso la radiación solar y la exposición a ella.

Desde la realización de este trabajo, se quiere dejar constancia que aspectos como los económicos, que van desde el presupuesto y el precio de los materiales hasta el coste de todos los sensores y la búsqueda de drones similares, sumado al aspecto de la producción del dron, lo cual engloba pasos como el cálculo de las superficies a cubrir, el tipo de laminado o los métodos de producción; ambos aspectos no son del alcance de este trabajo, si bien es cierto que se exponen en él y se proponen para que en el futuro, si se deseara, pueda darse una continuación a este trabajo.

Finalmente, se propone que se pueda seguir investigando en el sector del USV marítimos y de sus usos, puesto que una vez llegados a este punto del trabajo, se puede constatar que el potencial que ofrece este campo, tanto económicamente como de investigación científica, es alto y con buenas previsiones de futuro.

---

## **ANEXO I: Acrónimos**

- USV: Unmanned Surface Vehicle.
- ASC: Autonomous Surface Craft.
- ROV: Remote Operated Vehicle.
- CURV-I / CURV-III: Cable-controlled Undersea Recovery Vehicle.
- UAV: Unmanned Aerial Vehicle.
- ASW: Anti-Submarine Warfare.
- DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency.
- COLREG: Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea.
- ACTUV: Anti-Submarine Warfare Continuous Trail Unmanned Vessel.
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- Aéreos, O. (2019). 8 ventajas de los drones marítimos respecto de los aviones - Drone Spain. [online] Drone España. Disponible en: <http://dronespain.pro/ventajas-los-drones-maritimos-respecto-los-aereos/> [Accessed Mar .2019].
- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, B. (2019). *BOE.es - Documento BOE-A-2013-408*. [online] Boe.es. Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-408> [Accessed Apr. 2019].
- Altocúmulo. (2019). *Qué es un barómetro, tipos y como funciona un barómetro*. [online] Available at: <https://www.altocumulo.com/que-es-un-barometro-y-como-funciona/> [Accessed Jun. 2019].
- Álvaro Ibáñez, M. (2019). Así es el barco militar no tripulado más grande del mundo. [online] EL PAÍS. Available at: [https://elpais.com/tecnologia/2016/05/05/actualidad/1462440524\\_562055.html](https://elpais.com/tecnologia/2016/05/05/actualidad/1462440524_562055.html) [Accessed Feb. 2019].
- Anon, (2019). [online] Available at: <https://tarwi.lamolina.edu.pe/licochea/propiedad2.html> [Accessed Jun. 2019].
- Apps.dtic.mil. (2019). [online] Available at: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a494165.pdf> [Accessed Mar. 2019].
- Armada.mde.es. (2019). [online] Available at: <http://www.armada.mde.es/archivo/personalescuelas/escano/trabajos/ECOM-OF-SC-Programa-SIRAMICOR.pdf> [Accessed Mar. 2019].
- Artigot, C. (2019). *Calidad del Aire y Salud - Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes*. [online] Ecodes.org. Available at: <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes> [Accessed Jun. 2019].
- Asvglobal.com. (2019). [online] Available at: [https://www.asvglobal.com/wp-content/uploads/2019/04/C-Sweep-v2\\_2019.pdf](https://www.asvglobal.com/wp-content/uploads/2019/04/C-Sweep-v2_2019.pdf) [Accessed Apr. 2019].
- Asvglobal.com. (2019). [online] Available at: [https://www.asvglobal.com/wp-content/uploads/2017/06/C-Target-1\\_2017.pdf](https://www.asvglobal.com/wp-content/uploads/2017/06/C-Target-1_2017.pdf) [Accessed Apr. 2019].
- batimétrico, U. (2019). *APACHE 3 - Usv autónomo / de control batimétrico by CHC Navigation | DirectIndustry*. [online] Directindustry.es. Available at: [https://www.directindustry.es/prod/chc-navigation/product-174453-2050973.html?utm\\_source=ProductDetail&utm\\_medium=Web&utm\\_content=SimilarProduct&utm\\_campaign=CA](https://www.directindustry.es/prod/chc-navigation/product-174453-2050973.html?utm_source=ProductDetail&utm_medium=Web&utm_content=SimilarProduct&utm_campaign=CA) [Accessed Sep. 2019].
- Bibliotecadigital.ilce.edu.mx. (2019). *XII. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA DE MAR: SALINIDAD, CLORINIDAD Y pH*. [online] Available at: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec\\_17.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html) [Accessed Jun. 2019].
- Boe.es. (2019). *BOE.es - Documento BOE-A-2013-408*. [online] Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-408> [Accessed Aug. 2019].
- Caltestlabs.com. (2019). *Oil and Grease Analysis | EPA 1664 Analysis*. [online] Available at: <https://www.caltestlabs.com/Services/OilGreaseAnalyses.aspx> [Accessed Jun. 2019].
- Cma-science.nl. (2019). [online] Available at: [http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/ml\\_sensors/ML66m\\_es.pdf](http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/ml_sensors/ML66m_es.pdf) [Accessed Jun. 2019].

## BIBLIOGRAFÍA:

---

- Cofes.org.ar. (2019). [online] Available at: [http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/5\\_jornada/4\\_CLOROFILA.pdf](http://www.cofes.org.ar/descargas/relas/5_jornada/4_CLOROFILA.pdf) [Accessed Jul. 2019].
- Concepto.de. (2019). *pH: Concepto, Escala de medidas, Cómo se mide y Ejemplos*. [online] Available at: <https://concepto.de/ph/> [Accessed Jun. 2019].
- DASTEC S.R.L. (2019). - *Combustibles en Agua - Analizadores de Líquidos*. [online] Available at: <https://www.dastecsrl.com.ar/productos/analizadores-de-liquidos/combustibles-en-agua> [Accessed Jun. 2019].
- DASTEC S.R.L. (2019). *AS16 / AS56 | Sondas de inserción para medir turbidez y color - Optek - Procesos: Turbidez | Color | Concentración | UV-VIS-NIR*. [online] Available at: <https://www.dastecsrl.com.ar/productos/analizadores-de-liquidos/procesos-turbidez-color-concentracion-uv-vis-nir/as16-as56-sondas-de-insercion-para-medir-turbidez-y-color> [Accessed Jul. 2019].
- Diabgroup.com. (2019). *USV navega con ingeniería CCG*. [online] Available at: <https://www.diabgroup.com/es-ES/Cases/Marine/USV-sets-sail-with-CCG-engineering> [Accessed Mar. 2019].
- Dinama.gub.uy. (2019). *INDICADORES AMBIENTALES | Concentración de Clorofila a*. [online] Available at: [https://www.dinama.gub.uy/indicadores\\_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-clorofila-a/](https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-concentracion-de-clorofila-a/) [Accessed Jul. 2019].
- Drone Spain. (2019). *Drone Spain | División marítima:Innovación en el sector del drone marítimo*. [online] Available at: <http://dronespain.pro/drone-maritimo/> [Accessed Jan. 2019].
- Economiadigital (ed. general). (2019). *Los drones llegan a la gestión del agua*. [online] Available at: [https://www.economiadigital.es/directivos-y-empresas/los-drones-llegan-a-la-gestion-del-agua\\_187310\\_102.html](https://www.economiadigital.es/directivos-y-empresas/los-drones-llegan-a-la-gestion-del-agua_187310_102.html) [Accessed Mar. 2019].
- El blog de la ventilación inteligente. (2019). *¿ Qué es un sensor de temperatura y para qué se utiliza?*. [online] Available at: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/que-es-un-sensor-de-temperatura-y-para-que-se-utiliza/> [Accessed Jun. 2019].
- El Huffington Post. (2019). *Por qué los drones son la mejor tecnología para ayudar al medioambiente*. [online] Available at: [https://www.huffingtonpost.es/2017/07/10/por-que-los-drones-son-la-mejor-tecnologia-para-ayudar-al-medioa\\_a\\_23023417/](https://www.huffingtonpost.es/2017/07/10/por-que-los-drones-son-la-mejor-tecnologia-para-ayudar-al-medioa_a_23023417/) [Accessed Mar. 2019].
- Elcacho (2019). *Estos son los Saildrone, los primeros drones que vigilan la salud del mar*. [online] La Vanguardia. Available at: <https://www.lavanguardia.com/natural/20180317/441565434831/estos-son-los-saildrone-los-primeros-drones-que-vigilan-la-salud-del-mar.html> [Accessed Mar. 2019].
- Embention. (2019). *SPAYK USV*. [online] Available at: <https://www.embention.com/es/proyectos/spayk-usv/> [Accessed Mar. 2019].
- Embention. (2019). *USV (Unmanned Surface Vehicle), aplicaciones y ventajas*. [online] Available at: <https://www.embention.com/es/news/usv-sus-aplicaciones-y-ventajas/> [Accessed Feb. 2019].
- Emtic.educarex.es. (2019). [online] Available at: <https://emtic.educarex.es/pildoras/pub/cont/archivos/sensorsalinidad.pdf> [Accessed Jun. 2019].
- En.wikipedia.org. (2019). *ASW Continuous Trail Unmanned Vessel*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/ASW\\_Continuous\\_Trail\\_Unmanned\\_Vessel](https://en.wikipedia.org/wiki/ASW_Continuous_Trail_Unmanned_Vessel) [Accessed Apr. 2019].
- En.wikipedia.org. (2019). *CTD (instrument)*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/CTD\\_\(instrument\)](https://en.wikipedia.org/wiki/CTD_(instrument)) [Accessed Apr. 2019].

- En.wikipedia.org. (2019). *Protector USV*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Protector\\_USV](https://en.wikipedia.org/wiki/Protector_USV) [Accessed Apr. 2019].
- En.wikipedia.org. (2019). *Sea Hunter*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sea\\_Hunter](https://en.wikipedia.org/wiki/Sea_Hunter) [Accessed Apr. 2019].
- En.wikipedia.org. (2019). *Unmanned surface vehicle*. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_surface\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_surface_vehicle) [Accessed Mar. 2019].
- Es.endress.com. (2019). *Turbidímetros. Sensores de turbidez del agua / Endress+Hauser*. [online] Available at: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-agua-liquidos-industria/turbidimetros-sensores-turbidez-agua> [Accessed Jul. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Anemómetro*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Anem%C3%B3metro> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Barómetro*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bar%C3%B3metro> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Catamarán*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Catamar%C3%A1n> [Accessed Sep. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Clorofila*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Clorofila> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Densidad relativa*. [online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad\\_relativa](https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad_relativa) [Accessed Jul. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Efecto termoeléctrico*. [online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_termoel%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_termoel%C3%A9ctrico) [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Hidrocarburo*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hidrocarburo> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Nefelómetro*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Nefel%C3%B3metro> [Accessed Jul. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *PH*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/PH> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *PH-metro*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/PH-metro> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Piranómetro*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro> [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Sensor de humedad*. [online] Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor\\_de\\_humedad](https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_humedad) [Accessed Jun. 2019].
- Es.wikipedia.org. (2019). *Turbidez*. [online] Available at: <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez> [Accessed Jul. 2019].
- europapress.es. (2019). *Indra avanza en el desarrollo de uno de los primeros drones marítimos con tecnología cien por cien española*. [online] Available at: <https://www.europapress.es/economia/noticia-indra-avanza-desarrollo-primeros-drones-maritimos-tecnologia-cien-cien-espanola-20171001120051.html> [Accessed Mar. 2019].

## BIBLIOGRAFÍA:

---

- Experimentos Científicos. (2019). *pH del Agua de Mar*. [online] Available at: <https://www.experimentoscientificos.es/ph/ph-del-agua/mar/> [Accessed Jun. 2019].
- Fomento.gob.es. (2019). Marítimo | Ministerio de Fomento. [online] Available at: <https://www.fomento.gob.es/maritimo> [Accessed Aug. 2019].
- Fomento.gob.es. (2019). *Normativa marítima y cooperación internacional | Ministerio de Fomento*. [online] Available at: <https://www.fomento.gob.es/marina-mercante/normativa-maritima-y-cooperacion-internacional/subdireccion-general-de-normativa-maritima-y-cooperacion-internacional> [Accessed Aug. 2019].
- Fomento.gob.es. (2019). *Radiocomunicaciones | Ministerio de Fomento*. [online] Available at: <https://www.fomento.gob.es/marina-mercante/radiocomunicaciones/instalaciones-de-radiocomunicaciones-y-radionavegacion> [Accessed Aug. 2019].
- Fomento.gob.es. (2019). Seguridad marítima y contaminación | Ministerio de Fomento. [online] Available at: <https://www.fomento.gob.es/marina-mercante/seguridad-maritima-y-contaminacion> [Accessed Aug. 2019].
- Fondear.org. (2019). *Monocasco o Catamaran, conozcalos a fondo para saber decidir*. [online] Available at: [http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Los\\_Barcos/Mono\\_Cata/Mono\\_Cata.htm](http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Los_Barcos/Mono_Cata/Mono_Cata.htm) [Accessed Sep. 2019].
- Garrigues.com. (2019). *La regulación de los drones marinos*. [online] Available at: [https://www.garrigues.com/es\\_ES/noticia/la-regulacion-de-los-drones-marinos](https://www.garrigues.com/es_ES/noticia/la-regulacion-de-los-drones-marinos) [Accessed Apr. 2019].
- Garrigues.com. (2019). *La regulación de los drones marinos*. [online] Available at: [https://www.garrigues.com/es\\_ES/noticia/la-regulacion-de-los-drones-marinos](https://www.garrigues.com/es_ES/noticia/la-regulacion-de-los-drones-marinos) [Accessed Aug. 2019].
- Gencat.cat. (2019). [online] Available at: [http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/ME28\\_implantacion\\_SGA\\_puertos\\_deportivos.pdf](http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/ME28_implantacion_SGA_puertos_deportivos.pdf) [Accessed Jun. 2019].
- Geniolandia.com. (2019). [online] Available at: <https://www.geniolandia.com/13131762/instrumentos-para-medir-la-lluvia-y-viento> [Accessed Jun. 2019].
- Geoenciclopedia.com. (2019). *¿Qué es un Barómetro y para qué Sirve? - Información y Características - Geografía*. [online] Available at: <https://www.geoenciclopedia.com/que-es-un-barometro-y-para-que-sirve/> [Accessed Jun. 2019].
- Gizmodo.com. (2019). [online] Available at: <https://gizmodo.com/rolls-royce-is-designing-giant-drone-ships-to-sail-the-1530534477> [Accessed Feb. 2019].
- Grupoalava.com. (2019). *Calidad de agua*. [online] Available at: <http://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/instrumentacion-y-ensayos/sensores-adquisicion-de-datos-y-calibracion/sensores-y-acondicionadores-de-senal/hidrologia/calidad-de-agua/> [Accessed May 2019].
- Grupoalava.com. (2019). *Correntímetros ADCP - Teledyne RDI*. [online] Available at: <http://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/instrumentacion-y-ensayos/sensores-adquisicion-de-datos-y-calibracion/sensores-y-acondicionadores-de-senal/hidrologia/correntimetros-adcp/> [Accessed Apr. 2019].
- Grupoalava.com. (2019). *USV - Vehículos de Superficie No Tripulados*. [online] Available at: <http://www.grupoalava.com/ingenieros/productos/oceanografia/vehiculos/usv---vehiculos-de-superficie-no-tripulados/> [Accessed Mar. 2019].



- Hannainst.es. (2019). *Tecnología de medida de oxígeno disuelto*. [online] Available at: <https://www.hannainst.es/blog/1485/tecnologia-de-medida-de-oxigeno-disuelto> [Accessed Jun. 2019].
- iAgua, M. (2019). *Detector on-line de Aceites e Hidrocarburos*. [online] iAgua. Available at: <https://www.iagua.es/noticias/espana-chile-mexico/sensara/16/04/14/detector-on-line-aceites-e-hidrocarburos> [Accessed Jun. 2019].
- Imo.org. (2019). *Prevención de la contaminación por hidrocarburos*. [online] Available at: <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/OilPollution/Paginas/Default.aspx> [Accessed Jun. 2019].
- Indracompany.com. (2019). [online] Available at: <https://www.indracompany.com/es/noticia/indra-realiza-vigo-demostracion-embarcacion-opcionalmente-tripulada-desarrollo-pionero-situa> [Accessed Mar. 2019].
- Infoagro.com. (2019). *Anemómetros. Qué es un anemómetro y cómo mide la velocidad del viento*. [online] Available at: [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_anemometro\\_velocidad\\_viento.asp?k=80](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_anemometro_velocidad_viento.asp?k=80) [Accessed Jun. 2019].
- infodron.es. (2019). *La importancia pasada, presente y futura de los USV - Opinión* Infodron.es. [online] Available at: <http://infodron.es/id/2019/02/13/opinion-importancia-pasada-presente-futura.php> [Accessed Feb. 2019].
- infodron.es. (2019). *La importancia pasada, presente y futura de los USV - Opinión* Infodron.es. [online] Available at: <http://infodron.es/id/2019/02/13/opinion-importancia-pasada-presente-futura.php> [Accessed Aug. 2019].
- Instru.es. (2019). *Instrumentación Analítica*. [online] Available at: <https://www.instru.es/producto.php?fm=medio-ambiente&gm=analizadores%20de%20hidrocarburos&idsub=45&id=63> [Accessed Jun. 2019].
- Juntadeandalucia.es. (2019). [online] Available at: [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/rediam/contenidos\\_ordenacion/PDF/FIC\\_HA\\_CLOROFILA-A.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/contenidos_ordenacion/PDF/FIC_HA_CLOROFILA-A.pdf) [Accessed Jun. 2019].
- Kaspersky.es. (2019). *1001 formas de usar drones en la industria marítima*. [online] Available at: <https://www.kaspersky.es/blog/maritime-drones-deployment/5825/> [Accessed Feb. 2019].
- Kippzonen.es. (2019). *Principio de funcionamiento de un piranómetro de termopila - Kipp & Zonen*. [online] Available at: <https://www.kippzonen.es/News/575/Principio-de-funcionamiento-de-un-piranometro-de-termopila#.XVqcAugzZPZ> [Accessed Jun. 2019].
- L3 ASV | World Leading Marine Autonomy. (2019). *C-Sweep* | L3 ASV | World Leading Marine Autonomy. [online] Available at: <https://www.asvglobal.com/product/c-sweep/> [Accessed Apr. 2019].
- L3 ASV | World Leading Marine Autonomy. (2019). *C-Target 1* | L3 ASV | World Leading Marine Autonomy. [online] Available at: <https://www.asvglobal.com/product/c-target-1/> [Accessed Apr. 2019].
- Latam.kaspersky.com. (2019). *Drones Marítimos: Volar, Nadar y Sumergirse*. [online] Available at: <https://latam.kaspersky.com/blog/drones-maritimos-volar-nadar-y-sumergirse/5348/> [Accessed 2019].
- Lloyd's Register. (2019). *Lloyd's Register offer smart solutions shaped with human intelligence..* [online] Available at: <https://www.lr.org/es-es/> [Accessed Aug. 2019].



## BIBLIOGRAFÍA:

---

- Mambiente.munimadrid.es. (2019). [online] Available at: [http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/aparatos\\_de\\_medida.pdf](http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/aparatos_de_medida.pdf) [Accessed Jun. 2019].
- Medidores, A. (2019). *Sensores de temperatura*. [online] Pce-iberica.es. Available at: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/sensores-temperatura.htm> [Accessed Jun. 2019].
- Medidores, J. (2019). *Oxímetros(de agua)*. [online] Pce-iberica.es. Available at: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/oximetros-O2.htm> [Accessed Jun. 2019].
- Medirtemperatura.com. (2019). *Sensor de temperatura*. [online] Available at: <http://medirtemperatura.com/sensor-temperatura.php> [Accessed Jun. 2019].
- Medirtemperatura.com. (2019). *Sensor de temperatura*. [online] Available at: <http://medirtemperatura.com/termistor.php> [Accessed Jun. 2019].
- MuyInteresante.es. (2019). *Llegan los drones marinos*. [online] Available at: <https://www.muyinteresante.es/tecnologia/articulo/llegan-los-drones-marinos-421455094824> [Accessed Mar. 2019].
- Nuestromar.org. (2019). [online] Available at: <http://www.nuestromar.org/files/BUQUES-NO-TRIPULADOS-GN.pdf> [Accessed Mar. 2019].
- Nuestromar.org. (2019). [online] Available at: <http://www.nuestromar.org/files/BUQUES-NO-TRIPULADOS-GN.pdf> [Accessed Aug. 2019].
- Oag-fundacion.org. (2019). *Calidad de aguas portuarias - Observatorio Ambiental Granadilla*. [online] Available at: <http://www.oag-fundacion.org/index.php/fundacion/areasactuacion?id=55:calidad&catid=46> [Accessed Mar. 2019].
- Oilinwatermonitors.com. (2019). *You are being redirected....* [online] Available at: <https://oilinwatermonitors.com/es/portfolio-items/td-560/> [Accessed Jun. 2019].
- Opal, A. and Opal, A. (2019). *Analizador de Hidrocarburos*. [online] Octimiza. Available at: <https://octimiza.com/hidrocarburos/125-ceres-opal.html> [Accessed Jun. 2019].
- Pagina.jccm.es. (2019). *Valores límite y umbrales de emisión de contaminantes*. [online] Available at: <http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/legisla04b.htm> [Accessed Jun. 2019].
- Penalva, J. (2019). *Los drones conquistarán definitivamente el mar: Rolls Royce lo quiere así*. [online] Xataka.com. Available at: <https://www.xataka.com/drones/los-drones-conquistaran-definitivamente-el-mar-rolls-royce-lo-quiere-asi> [Accessed Apr. 2019].
- Portal-aenormas-aenor-com.recursos.biblioteca.upc.edu. (2019). *Accés remot*. [online] Available at: [https://portal-aenormas-aenor-com.recursos.biblioteca.upc.edu/aenor/Suscripciones/Personal/pagina\\_per\\_sus.asp#.XY3kTUYzaUk](https://portal-aenormas-aenor-com.recursos.biblioteca.upc.edu/aenor/Suscripciones/Personal/pagina_per_sus.asp#.XY3kTUYzaUk) [Accessed Sep. 2019].
- Portdebarcelona.cat. (2019). *Port Barcelona - Calidad del agua*. [online] Available at: <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/el-port/102> [Accessed Jun. 2019].
- Puertos.es. (2019). [online] Available at: <http://www.puertos.es/es-es/medioambiente/Documents/Transporte%20Sostenible%2010%20-%20Calidad%20Agua.pdf> [Accessed Jun. 2019].
- Puertos.es. (2019). [online] Available at: <http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%205.1-13.pdf> [Accessed Jun. 2019].

- Repositorio.innovacionumh.es. (2019). *ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA*. [online] Available at: [http://repositorio.innovacionumh.es/Proyectos/P\\_22CursoMateriales/Miguel\\_Angel\\_Sogorb/Wimba/Espectroscopia\\_06.htm](http://repositorio.innovacionumh.es/Proyectos/P_22CursoMateriales/Miguel_Angel_Sogorb/Wimba/Espectroscopia_06.htm) [Accessed Jun. 2019].
- Revistamarina.cl. (2019). [online] Available at: <https://revistamarina.cl/revistas/2015/1/lquijarros.pdf> [Accessed Feb. 2019].
- Riunet.upv.es. (2019). [online] Available at: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9176/Proyecto%20Final%20de%20Carrera%20-%20Clorofila%20a%20Quickbird.pdf> [Accessed Jun. 2019].
- Romero, F. (2019). *¿Es el agua alcalina saludable? ¿Qué es el PH?*. [online] Ecovidasolar. Available at: <https://www.ecovidasolar.es/blog/ph-en-el-cuerpo-y-ph-en-el-agua/> [Accessed Jun. 2019].
- Rules.dnvgl.com. (2019). [online] Available at: <https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgl/#!/home> [Accessed Aug. 2019].
- Saildrone.com. (2019). *Saildrone: Technology*. [online] Available at: <https://www.saildrone.com/technology> [Accessed Jun. 2019].
- SailingEurope. (2019). *Catamarán vs. Monocasco*. [online] Available at: <https://www.sailingeurope.com/es/catalogo-yacht/catamaran/catamaran-vs-monocasco> [Accessed Sep. 2019].
- Solociencia.com. (2019). *Técnica para detectar hidrocarburos*. [online] Available at: <https://www.solociencia.com/quimica/10082501.htm> [Accessed Jun. 2019].
- Spain, D. (2019). *¿Qué es un USV o barco no tripulado?*. [online] Drone Spain. Available at: <https://dronespain.pro/usv-barco-no-tripulado/> [Accessed Feb. 2019].
- Surcando. (2019). *¿Catamarán o monocasco?*. [online] Available at: <http://www.surcando.com/catamaran-o-monocasco/> [Accessed Sep. 2019].
- Temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com. (2019). [online] Available at: <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2015/04/sensor-de-humedad.pdf> [Accessed Jun. 2019].
- Upo.es. (2019). [online] Available at: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/quimbiotec/FQpractica4.pdf> [Accessed Jun. 2019].
- vigilancia, U. (2019). *iBoat BS2 USV - Usv autónomo / de vigilancia by Hi-Target Surveying Instrument Co.,Ltd | DirectIndustry*. [online] Directindustry.es. Available at: [https://www.directindustry.es/prod/hi-target-surveying-instrument-co-ltd/product-161167-2002866.html?utm\\_source=ProductDetail&utm\\_medium=Web&utm\\_content=SimilarProduct&utm\\_campaign=CA](https://www.directindustry.es/prod/hi-target-surveying-instrument-co-ltd/product-161167-2002866.html?utm_source=ProductDetail&utm_medium=Web&utm_content=SimilarProduct&utm_campaign=CA) [Accessed Sep. 2019].
- www.naucher.com, N. (2019). *LA RESPUESTA A LA CONTAMINACIÓN EN AGUAS PORTUARIAS*. [online] Naucher.com. Available at: [http://www.naucher.com/es/actualidad/la-respuesta-a-la-contaminacion-en-aguas-portuarias/\\_n:3650/](http://www.naucher.com/es/actualidad/la-respuesta-a-la-contaminacion-en-aguas-portuarias/_n:3650/) [Accessed Apr. 2019].
- Www2.inecc.gob.mx. (2019). [online] Available at: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/623/equipos.pdf> [Accessed Jun. 2019].
- Ysi.com. (2019). [online] Available at: <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Specification%20Sheets/HYCAT-Autonomous-Surface-Vehicle-Specification-Sheet.pdf> [Accessed Sep. 2019].

## BIBLIOGRAFÍA:

---

- Ysi.com. (2019). Autonomous Vehicle for Water Monitoring | ysi.com. [online] Available at: <https://www.ysi.com/hycat> [Accessed Sep. 2019].

